

# الحماية من التآكل

لمعدات إنتاج ونقل وتصنيع البترول والغاز



مهندس استشاري

محمد أحمد السيد خليل





# الحماية من التآكل

لمعدات إنتاج ونقل وتصنيع البترول والغاز

مهندس استشاري

محمد أحمد السيد خليل

رقم الإيداع: 2005/10847  
الترقيم الدولى: 0-533-287-977

© حقوق النشر والطبع والتوزيع محفوظة لدار الكتب العلمية للنشر والتوزيع 2005  
لا يجوز نشر جزء من هذا الكتاب أو إعادة طبعه أو اختصاره بقصد الطباعة أو اختزان مادته  
العلمية أو نقله بأى طريقة سواء كانت إلكترونية أو ميكانيكية أو بالتصوير أو خلاف ذلك دون موافقة  
خطيه من الناشر مقدماً.

**دار الكتب العلمية للنشر والتوزيع**

50 شارع الشيخ ربحان - الدور الأول - شقة 12

عابدين - القاهرة ☎ : 7954229

WWW.sbheg.com  
e-mail:sbh@link.net



# بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

## مقدمة

### تقديم الكتاب :

نظراً للاستثمارات الضخمة التي تتفق في مجال حقول إنتاج البترول والغاز وكذلك خطوط مواسير النقل والخزانات ومعدات التصنيع والتكرير، فإن حماية المعدات المستخدمة في هذا المجال من التآكل يعتبر من الأمور الهامة من الناحية الاقتصادية والفنية. ونظراً للطبيعة الخاصة للتآكل والحماية في مجال الأنشطة البترولية فقد تم الاستعانة في إعداد هذا الإصدار بالمراجع الحديثة التي أصدرها معهد البترول الأمريكي (API) وكذلك إصدارات الوكالة الدولية لمهندسي التآكل (NACE) .

وقد تم تناول موضوعات أساسيات التآكل وأنواعه وطرق الكشف عن التآكل، وكذلك طرق الحماية بتغطية السطح المعدني بطبقة حماية واستخدام المواد الغير معدنية، ومثبطات التآكل وطرق الحماية الكاثودية. وقد تم تناول هذه الموضوعات في 13 فصل. أرجو أن يحقق هذا الكتاب إضافة علمية للمكتبة العربية لندرة الإصدارات في هذا المجال، كما أرجو أن يحقق الإفادة للعاملين في مجال إنتاج وتداول وتصنيع البترول والغاز.

والله من وراء القصد.

المؤلف

مهندس/ استشاري

محمد أحمد السيد خليل







## تمهيد

### 1- التآكل في عمليات إنتاج البترول :

في عمليات البترول التآكل من الصعب تجنبه. كثير من الحقول تصنف أنها غير عدوانية ولكن مع مرور الوقت تزداد مشاكل التشغيل والتلف بسبب التآكل بما يتطلب عمل إجراءات الحماية من التآكل بطريقة أو أكثر من طريقة . إجراءات الحماية من التآكل تشمل الحماية الكاثودية ، المثبطات الكيماوية ، التحكم الكيماوي مثل إزالة الغازات المذابة ، التخلص من الأكسجين ، ضبط الرقم الهيدروجيني (pH) ، منع الترسيبات ، التغطية بطبقات الحماية ، خفض الإجهادات ، صدمات التحميل والاهتزازات ، عدم وجود انحناءات حادة ، التداول الصحيح للمعدات والمهمات، مراعاة حدوث التآكل عند التصميم، اللحام الجيد ، تنظيم عمليات الإصلاح. حالياً أصبح متاح أجهزة رصد وقياس التآكل المتطورة والتي أظهرت أن معدل التآكل يمكن أن يتغير بالساعة واليوم والأسبوع. قد يحدث التآكل فجأة لأسباب كثيرة منها إنتاج المياه ، التغير في الضغط. منذ عام 1950 حدث تطور كبير في تقنيات الحفر والإنتاج ، ولكن معظم هذه التقنيات صاحبها مشاكل تآكل حادة. البحث عن احتياطات جديدة أدى إلى زيادة عمق الحفر، حيث حفر الآبار بعمق حتى 30000 قدم . درجة حرارة القاع وصلت إلى 260°م ومقاومة التآكل عندئذ أصبحت شديدة الصعوبة. ولكن لحسن الحظ فإن هذا الوضع قابله تحدى من مهندسى التآكل فى صناعة إنتاج البترول وفى مجال تطوير نظم الكشف عن التآكل ومقاومة التآكل لتوفير العمر المطلوب للمعدة بأدنى تكلفة مازال التطوير مستمراً.

### 2- طبيعة المشكلة :

الشكل (1/ت) يوضح بعض الأماكن حيث يمكن حدوث مشاكل التآكل. التآكل يمكن أن يحدث فى أى مكان فى نظام الإنتاج، بدءاً من قاع البئر حتى المعدة المستخدمة فى تصنيع الزيت والغاز لتسويقه.

### التآكل أسفل ثقب البئر (Dwonhole Corrosion) :

آبار الضخ: آبار الضخ هى التى تراعى أولاً عند تصميم برنامج الحماية من التآكل لثقب البئر. الآبار ذات الحجم الصغير (2/ت) يتم ضخها إلى الخارج أى أن السوائل ليست موجودة فى دائرة ماسورة القيسون. لذلك فإن هذه الآبار تفتقر إلى الخزانات



لتخزين سوائل التثبيط لاستمرار الإنتاج خلال فترة زمنية ممتدة. كما أن الأعمدة قد تحتك بجدران المواسير ، حيث تحدث التلف بطبقة الحماية أكثر من الأنواع الأخرى لآبار الضخ . ظلمبة قاع البئر يمكن أن تكون شديدة السخونة في عدم وجود سوائل التبريد . تكون القشور (Scale) عند الطلبات هو عادي جداً في هذه الآبار . الشكل (2ب/ت) يبين بئر حيث مستوى السائل مرتفع حيث يوجد الزيت فوق الظلمبة لتوفير خزان للمثبطات ولتأكيد الإمداد المستمر للسوائل إلى الظلمبة. آبار الضخ ذات الحجم الكبير والمستوى العالي للسائل يمكن تحدث إجهادات عالية على الأعمدة مع احتمال حدوث التلف . خلال التآكل (Corrosion Fatigue) يمكن أن يحدث عند أعلا فتحة للبئر عدا في حالة أن تصميم عامود السحب يوفر شكل العامود المستدق - (Tapered String). أعمدة السحب (Sucker Rods) تتلف أحياناً في كل أنواع آبار الضخ . ولكن تم خفض مشاكل صناديق العامود، نهايات المسمار، جسم العامود بتوفير تقنيات التداول المطورة، مثبطات التآكل ، مادة الصنع المناسبة ، الضخ الصحيح. الاختيار الصحيح لمادة الصنع لطلبات قاع البئر ذو أهمية بالغة. حيث يجب أن تكون الطلبات قادرة على مقاومة الطبيعة العدوانية للسوائل المنتجة وفي نفس الوقت قادرة على ضخ المواد المسببة للاحتكاك مثل الرمل بدون حدوث تلف .

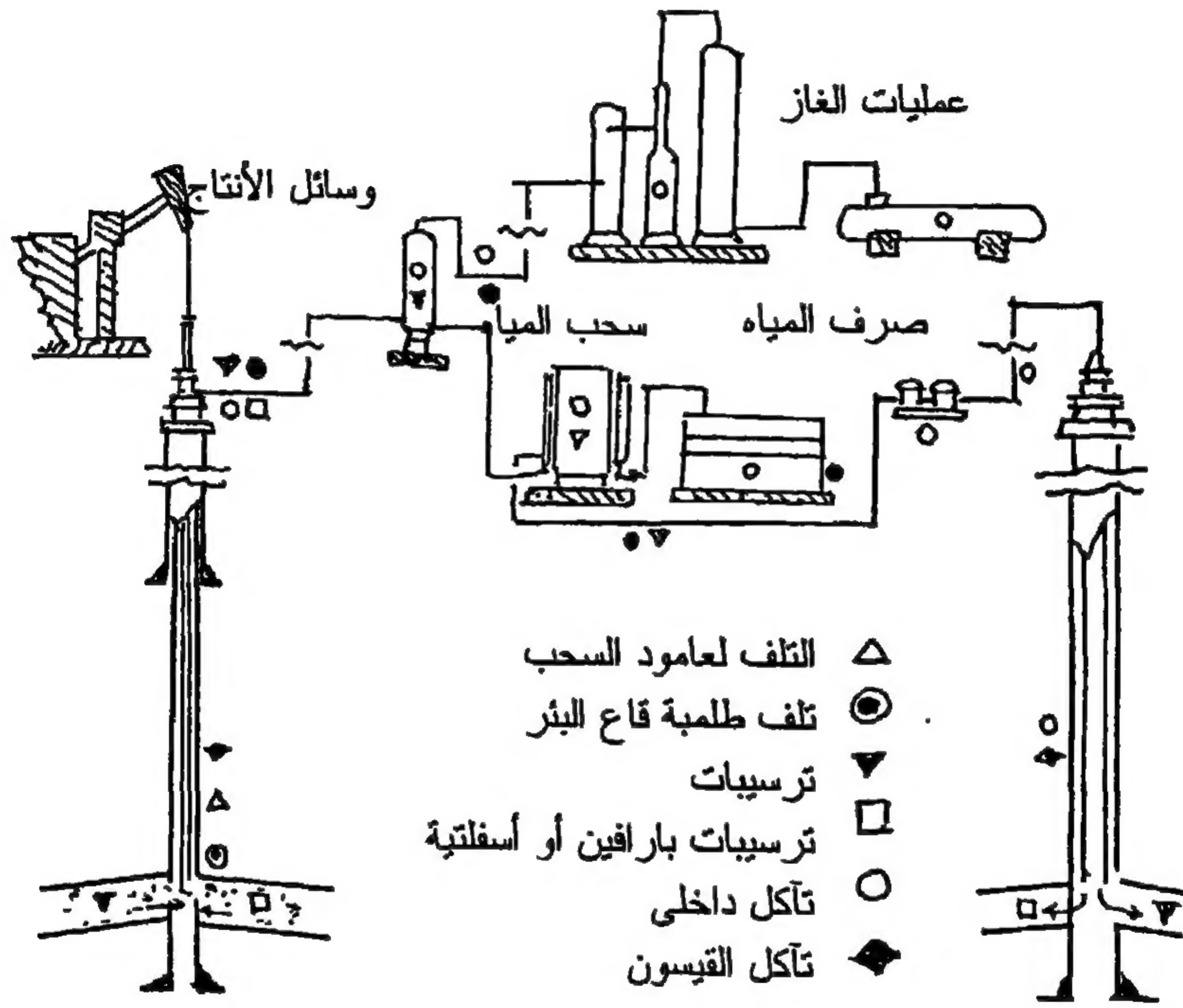
### آبار التدفق (Flowing Wells) :

الشكل (3ت) يوضح مخطط كامل لبئر زيت أو غاز بدون عازل الإنتاج (Packer) ، كذلك يظهر في الشكل نفس الاكتمال بعازل الإنتاج . في الآبار بدون عازل إنتاج يمكن استخدام الدوران الحلقى (Annulus) في توصيل المثبط إلى قاع عامود المواسير حيث يمكن أن تدخل ماسورة الإنتاج وحمايتها. الآبار ذات عازل الإنتاج ليس لديها هذا السبيل لحقن المثبط . يمكن استخدام التغطية بمواد البلاستيك

على الساخن للسطح الداخلي للمواسير أو إدخال المثبطات لحماية عامود المواسير المستخدم مرحلياً (Batch) ، استبدال المواسير، أو تقنيات حشر المثبط. الطرق الأخرى لإدخال المثبطات إلى قاع الثقب تشمل القضبان، الإغراق بالنازح (Bailer dump) ، الكرات الصغيرة... الخ. معدلات المعالجة المرحلية تتوقف على زمن عمر طبقة المثبط.



آبار الغاز ذات الضغط العالي تحتاج لتقنية أخرى. نظراً لأن هذه الآبار شديدة العدوانية. بعض العاملين يتموا البئر كما في الشكل (4/أ). عامود تخفيض السرعة ذو القطر الصغير (Small diameter kill string) يسير داخل عامود المواسير ليعمل على تدوير السائل. الغرض الرئيسي من عامود الإيقاف أو خفض السرعة هو لتوفير وسيلة لملئ البئر بسائل عالي الكثافة لتمكين دخوله بأمان لأعمال الصيانة (Wark Dveoperations).



شكل (1/ت) مكان وأنواع مشاكل إنتاج البترول







من وجهة النظر الفنية ، عامود الأنابيب المتوازي يفضل لاستخدام محابس الحقن أسفل ثقب البئر . يمكن انسداد محبس الحقن بالمواد الصلبة ، حيث يمكن أن يزيد ضغط قاع ثقب البئر عن ضغط التشغيل المطلوب للفراغ الحلقى للقيسون، ميزة أخرى لعامود المواسير الموازي هو أن خليط المثبط أو المثبت التنظيف لا يتعرض لفترة زمنية للضغط المرتفع ودرجة الحرارة المرتفعة . يصل المثبت إلى قاع البئر في زمن قصير، ويكون التحلل الحراري للمثبط عند أدناه.

المعدة الإضافية التي يمكن استخدامها أسفل فتحة البئر تشمل عناصر مثل عوازل الإنتاج (Packers) ، ماسورة السحب (Tail Pipe) ، محابس أمان.. الخ، وهذه أساسية في آبار الغاز عالي الضغط وتصنع عادة من مواد مختارة مقاومة للتآكل. من الواضح أنه يمكن التخلص من كثير من التلف الذي يحدث في آبار الضغط العالي بالاختيار لمادة الإنشاء المناسبة والتصميم الجيد. من بين التحسينات بالنسبة لآبار الغاز ذات الضغط العالي وذات نسبة عالية من جزيئات  $CO_2$  و/أو  $H_2$  وبالتالي الضغط الجزئي العالي لثاني أكسيد الكربون و/أو كبريتيد الهيدروجين. فإن تحسين التصميم، التثبيط، والمعالجة الحرارية المناسبة ساعد كثير في حل مشاكل التآكل الحلو.

### تآكل القيسون (Casing Corrosion) :

القيسون في بئر الإنتاج قد يتغير من كمية محدودة جدار من ماسورة سطح إلى عدة أعمدة من القيسونات المتحدة المركز (concentric) في الآبار العميقة عالية الضغط. وجد أن الحماية الكاثودية علاج مناسب لحماية السطح الخارجي للقيسون من التآكل في حدود. يتوقف التآكل الداخلي لماسورة القيسون إلى حد كبير على مكونات سوائل عزل الإنتاج ، حيث يلزم مراجعة كل سوائل العزل بالنسبة للعدوانية قبل استخدامها.

في حفر واكتمال البئر، سائل الحفر المتروك ما بين جدار الحفر والسطح الخارجي للقيسون يجب أن يؤخذ في الاعتبار. هذه السوائل قد تساعد في حدوث التآكل الخارجي للقيسون.



**فوهة البئر وما عليها (Well Head) :**

معدات فوهة البئر خاصة في آبار الغاز ذات الضغط العالي يمكن أن تتآكل بشدة. السرعات العالية والاضطراب يمنع حدوث عمليات الالتئام الذاتي ، ومحابس فوهة البئر تكون معرضة . هذا بالإضافة إلى أن الآبار التي تنتج نسبة جزئيات عالية من الغازات الحامضية تكون مساعدة لتآكل فوهة البئر .

**خطوط التدفق (Flow lines) :**

خطوط التدفق أما أن تكون مواسير جديدة أو مستخدمة. تراكم الترسيبات والملوثات الأخرى في الخطوط ينشط حدوث التآكل والتآكل المتقبي ، بما ينتج عنه تسرب. الأبعاد المناسبة للمعدة طبقاً لمعدلات التدفق تكون هامة جداً. يمكن الحد من التآكل الداخلي لخطوط التدفق باستخدام المثبطات أو طبقات الحماية. الحماية الكاثودية المستخدمة عادة مع التغطية تستخدم على نطاق واسع لمنع التآكل الخارجي.

**معدات العمليات الصناعية :**

أجهزة فصل الغاز عن الزيت (Gas-oil Separators) عادة لا تمثل مشكلة تآكل حادة، ولكن ترسيبات الأملاح المعدنية يمكن أن تكون معوقة لاستمرار الإنتاج . أحياناً يحدث التآكل بمصاحبة قشور الترسيبات وخاصة أسفل التيار للمنظمات (Regulators) ومعدة إزالة الرطوبة والماء.

معدة تصنيع الغاز معرضة للتآكل خاصة في حالة دخول الأكسجين مع البخار المساعد في عملية الفصل أو مع الماء المستخدم لإزالة الملح من تدفقات سائل الهيدروكربون في عملية الفصل. المعدة المستخدمة في تجفيف الزيت الخام معرضة لمشاكل للترسيبات والتآكل. درجات الحرارة المرتفعة في وحدات المعالجة الحرارية (Heat Treaters) والأوعية المشابهة المستخدمة في تسخين السوائل القادمة تزيد من الاستعداد للتآكل وترسيبات القشور (Scaling) . المثبطات التي قد تحقق الأداء الجيد في خليط الماء الهيدروكربون في خطوط التدفق قد لا تحمي مقطع الماء للسخان. لهذا فإن



وحدات المعالجة الحرارية والأوعية المشابهة يتم عادة حمايتها الداخلية بالطريقة الكاثودية.

### خزانات الحفظ (Storage Tanks) :

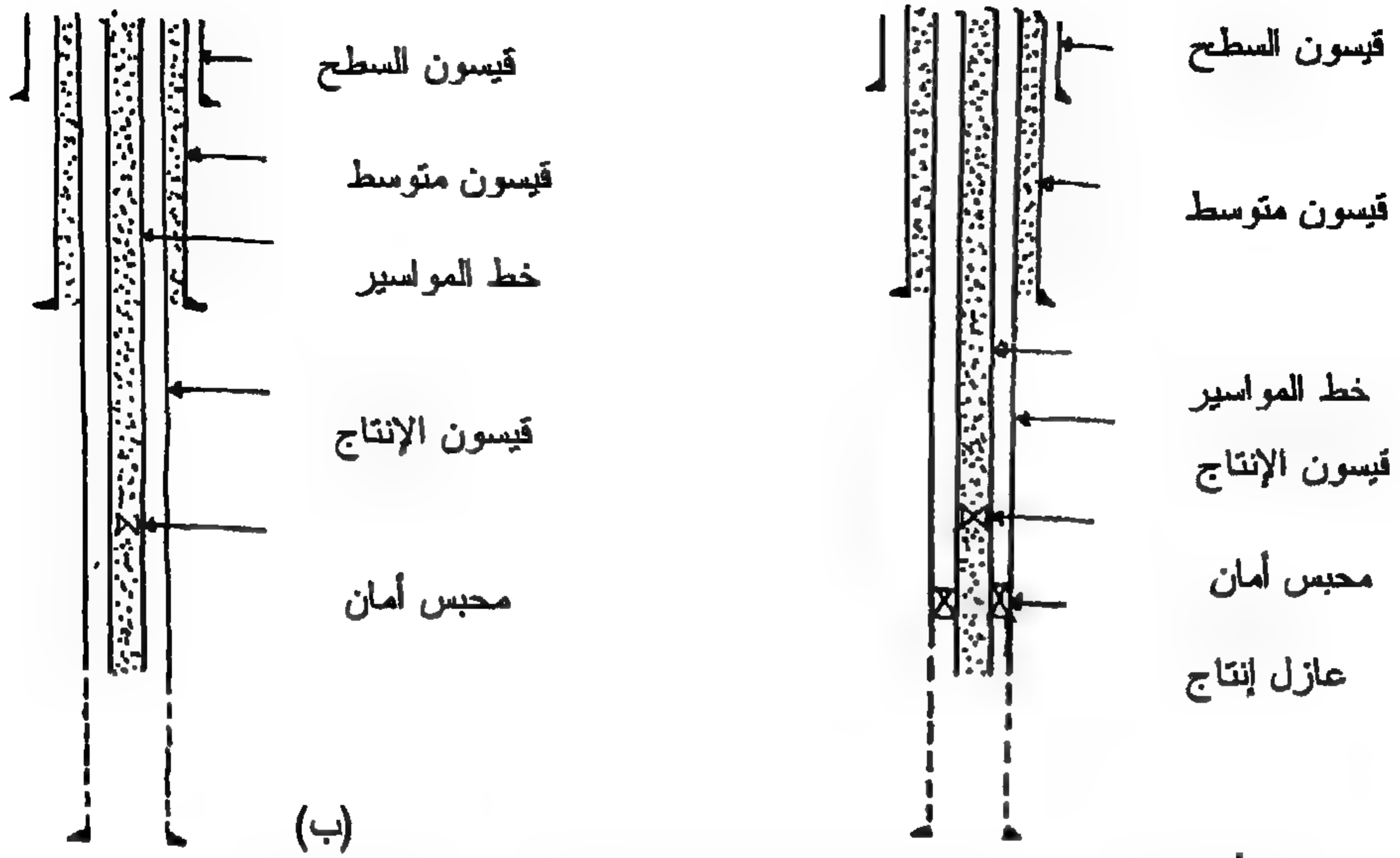
خزانات الحفظ معرضة للتآكل ، خاصة على الجانب السفلي للغطاء حيث تتكثف نقاط الماء مع وجود غاز حامضى و/أو الأكسجين. كذلك فإن التآكل الخارجى لقاع الخزان هو مشكلة مستمرة والتي يمكن علاجها بالحماية الكاثودية و/أو التغطية.

### نظم المياه (Water Systems) :

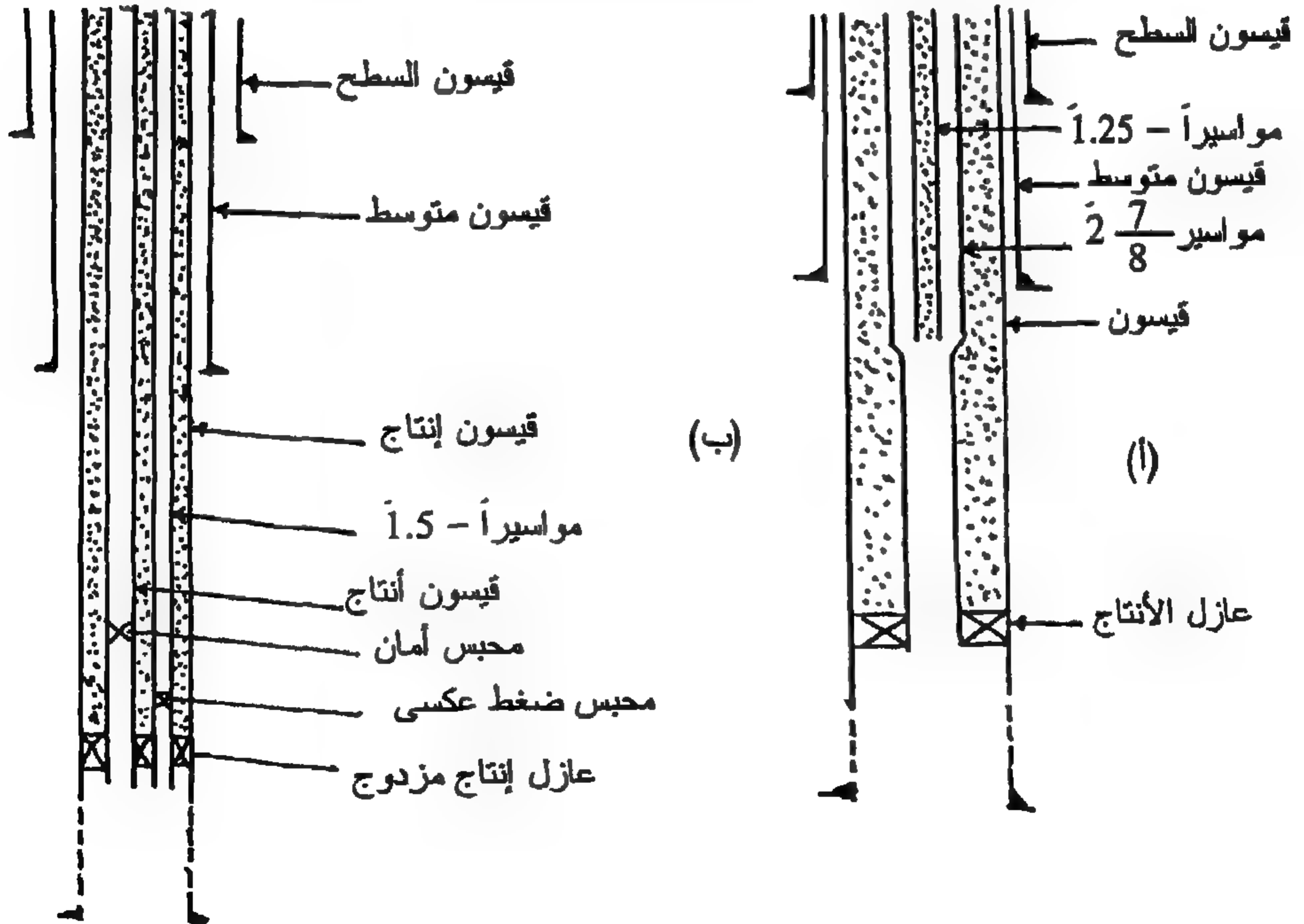
نظام التخلص من المياه أو غمر المياه معرضة للتآكل أساساً نتيجة الغازات الحامضية فى الماء أو بسبب دخول الهواء . المستخدم على نطاق واسع فى نظم مياه حقول البترول للمقاومة هو إزالة الغازات المذابة، واستخدام المثبطات، والتبطين أو التغطية الداخلية . كذلك يستخدم المواسير البلاستيك المسلحة بالصوف الزجاجى على نطاق واسع فى كل من الاستخدامات السطحية وأسفل فتحة البئر.

آبار سحب أو صرف المياه المالحة ذات مشكلة خاصة. حيث الضغط على خط حقن المياه وكذلك آبار الحقن نفسها يمكن أن يرتفع إلى 8000 رطل/ البوصة المربعة بما يمثل ظروف حادة بالنسبة للمعدن فى الخطوط ومواسير البئر. أعمدة الأنابيب يمكن أن تتآكل خارجياً على طول السطح الداخلى للقيسون بواسطة السوائل المحيطة فوق عازل الإنتاج (Packer). والبكتريا من خلال إنتاج  $H_2S$  يمكن أن تحدث تآكل فى نظم صرف المياه. يظل الأكسجين مصدر تهديد والسبب الرئيسى لإمداد الأكسجين هى الطلمبات ذات ضغط السحب (Prssured Suction).

الخلاصة: مقاومة التآكل عملية مستمرة فى عملية الإنتاج.

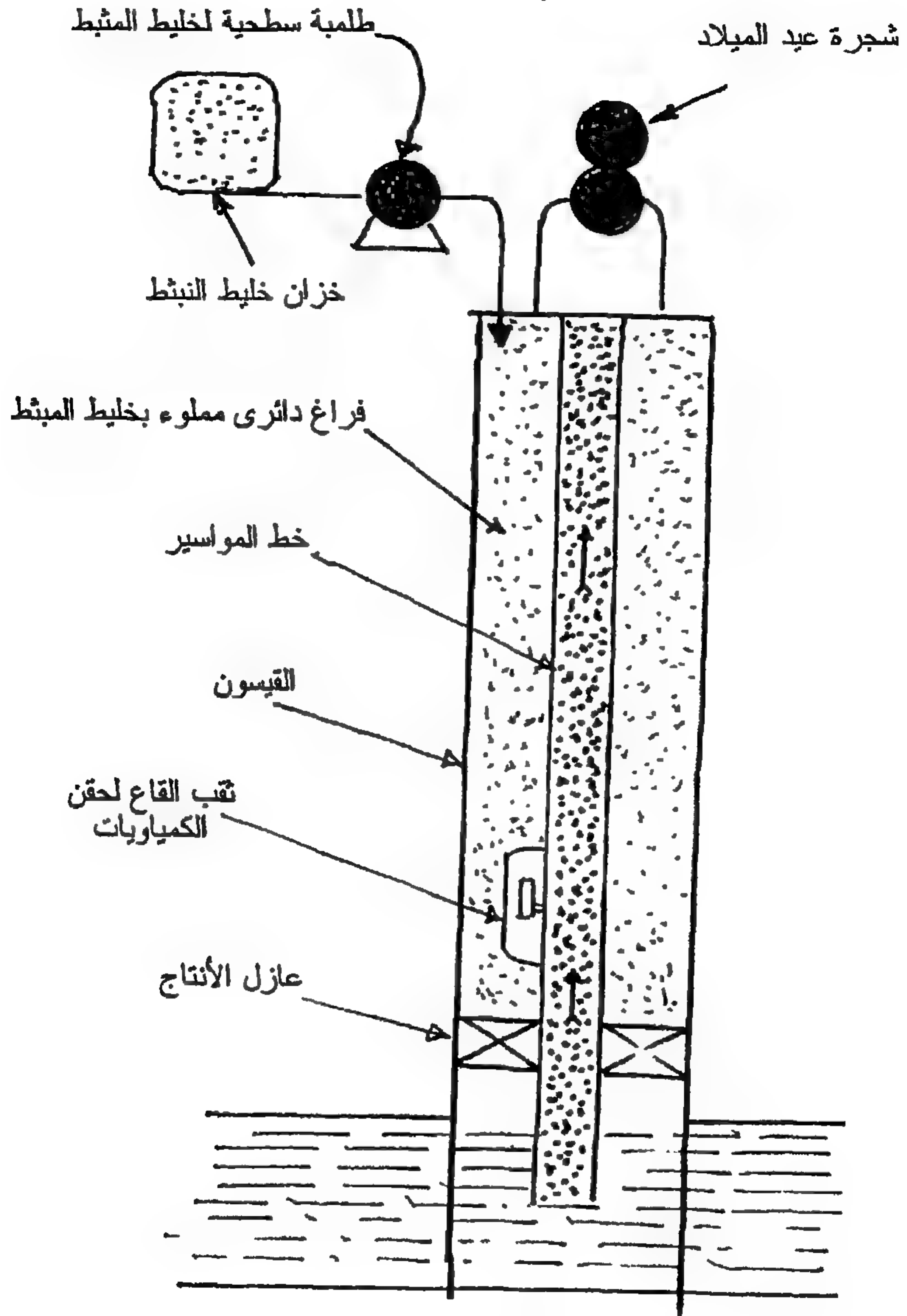


شكل (3/ت) نموذج لآمال بئر غاز عالي الضغط (أ) بحمال (ب) وبدون حمال



شكل (4/ت) بئر غاز عالي الضغط خط مواسير مركزي ،





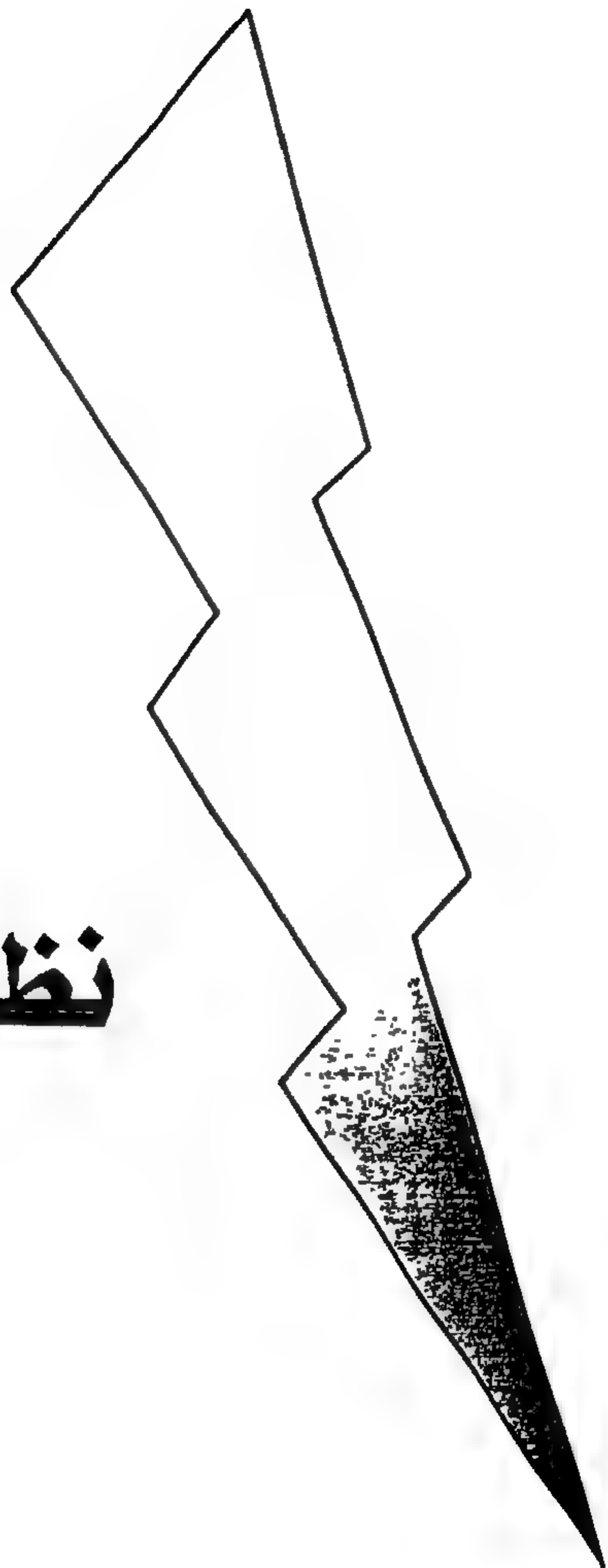
شكل (5/ت) مخطط لحاقن الكيماويات بفتحة القاع في البئر





# **الفصل الأول**

## **نظرية حدوث التآكل**







## 1- التعريف بالتآكل :

يمكن تعريف التآكل بأنه التلف للمادة أو الفقد لخصائصها بسبب التفاعل الكيماوي أو الكهروكيماوي مع البيئة المحيطة. ولتفهم طرق مقاومة التآكل فإنه يلزم معرفة هذه التفاعلات وعوامل تنشيطها.

لماذا يحدث التآكل ؟ معظم المعادن توجد في الطبيعة في شكل خاماتها الأولية والتي هي الأكاسيد المعدنية أو الأملاح. خام الحديد يشبه الصدا، ذلك لأن معظم خام الحديد هو أكسيد الحديد والذى يسمى الهيماتيت والذى له نفس التركيب الكيماوي لصدا الحديد ( $Fe_2 O_3$ ). وخام الحديد (الصدا) يتحول إلى معدن الحديد بإضافة الطاقة الخاصة باستخلاص المعدن من الخام، نفس هذه الطاقة هي التى تنطلق عند تحول المعدن ثانياً إلى الصدا بسبب التآكل. وفي الواقع فإن الطاقة المختزنة في المعدن أثناء استخلاصه هي التى تجعل حدوث التآكل ممكناً.

## 2- طبيعة تفاعلات التآكل :

التآكل الكهروكيماوي هو الشكل الرئيسى لتآكل المعادن. ومن عوامل تنشيط التآكل الظروف الطبيعية والكيماوية والبيولوجية والكهروكيماوية للمجال الملاصق وكذلك طبيعة المعدن. ولتوضيح طبيعة التآكل الكهروكيماوي للمعادن ونظراً لأن الماء أو رطوبة التربة أو رطوبة الهواء هي السبب الرئيسى لحدوث التآكل (حيث الرطوبة متوفرة كذلك في كل حالات الجفاف للتربة والهواء ولو بنسب قليلة جداً). لذلك فإنه يلزم التعرف على خواص الماء. في الماء تذوب تقريباً كل الأملاح إلى درجة ما، وتتراوح الإذابة بين أقل من القليل إلى تركيزات عالية تزيد عن تركيزات الملح في ماء البحر. عند إذابة الأملاح في الماء فإنها تنفصل إلى نوعين من الأيونات وهما الكاتايونات (cations) والآن أيونات (Anions) ولهما شحنات كهربية مختلفة وينفصلان بالماء نفسه. مثال لذلك في حالة كلوريد الصوديوم في الماء يكون شكل الأيونات هو ( $NaCl \rightarrow Na^+ + Cl^-$ ). كاتايونات الصوديوم لها شحنة موجبة وأن أيونات الكلور سالبة الشحنة. هذه الأيونات هي التى توفر للماء القدرة على التوصيل الكهربى، وهى تعمل على تأين الماء إلى كاتايونات الهيدروجين الموجبة وأن أيونات الأيدروكسيد السالبة ( $H_2O \rightarrow 2H^+ + O^{2-}$ ). المياه المقطرة بها أيونات أملاح قليلة جداً نسبياً لذلك فإن قدرتها صغيرة جداً على حمل التيار الكهربى (وبالتالى القدرة الضعيفة على حدوث التآكل).

التآكل في وجود الماء هو عملية كهروكيميائية ، حيث الأيونات الناتجة عن إذابة الأملاح في الماء تعمل على التوصيل الكهربى اللازم لحدوث تيار التآكل، حيث تتجه الكاتايونات الموجبة إلى القطب السالب (الكاثود) والآن أيونات السالبة إلى القطب الموجب (الأنود) . لذلك فإنه خلال عمليات التآكل يحدث سريان للتيار الكهربى. لحدوث التيار الكهربى فإنه يجب وجود قوة دفع (Diriving force) أو مصدر للفولت (الجهد) ، ودائرة كهربية كاملة والتي تشمل الأنود والكاثود والماء الذى يسمى الإليكتروليت واتصال كهربى بين الأنود والكاثود.

### مصدر الجهد (Voltage Source) :

مصدر الطاقة أو الجهد (الفولت) فى عملية التآكل هو الطاقة المخزنة فى المعدن فى عملية تنقيته واستخلاصه. حيث أن مختلف المعادن تتطلب طاقة مختلفة للتنقية والاستخلاص من خاماتها الأصلية لذلك فإن استعدادها للتآكل يختلف. فالمعادن حيث الطاقة المخزنة عالية مقارنة بالمعادن الأخرى حيث تقدير الطاقة بقطب قياسى (مثل قطب الهيدروجين أو قطب النحاس/ كبريتات النحاس) يكون استعدادها للتآكل أعلى.

المعدن	الفولت	
أكبر طاقة لازمة للتنقية أو مخزنة فى المعدن	2.37-	استعداد أكبر للتآكل (أنودى)
	1.66-	
	0.76-	
	0.44-	
	0.14-	
	0.13-	
	صفر	
	0.34+ إلى 0.52+	
	0.8-	
أقل طاقة لازمة للتنقية أو مخزنة فى المعدن	1.2-	استعداد أقل للتآكل (كاثودى)
	1.5- إلى 1.68	

وهذا موضح الجدول الآتى (1/1) توضيح لتسلسل الجهد أو القوة الدافعة للمعادن:

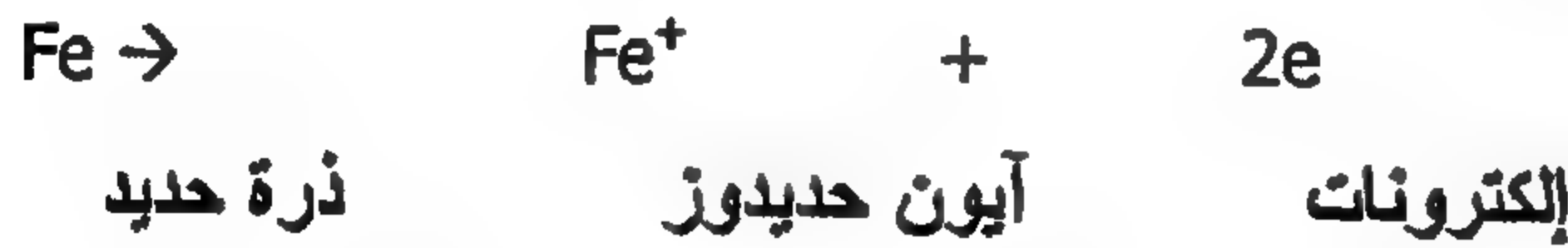


قيمة الفولت (Driving Voltage) الذى ينتجه المعدن عند وضعه فى محلول الماء يسمى جهد المعدن (Potential of Metal) وهو مرتبط بالطاقة التى تنطلق عند تآكل المعدن. قيم الجهد هى دلالة لكل من المعدن والخواص الكيماوية والطبيعية للماء، القيمة الكلية لجهد المعدن تتأثر بمكونات الماء، درجة الحرارة، السرعة وعوامل أخرى كثيرة. ولكن القيم النسبية للمعادن تظل كما هى فى معظم المحاليل. لذلك نجد أن المغنسيوم استعداده للتآكل أكبر من الحديد فى المجالات البيئية المختلفة.

### 3. الدائرة الكهربائية للتآكل :

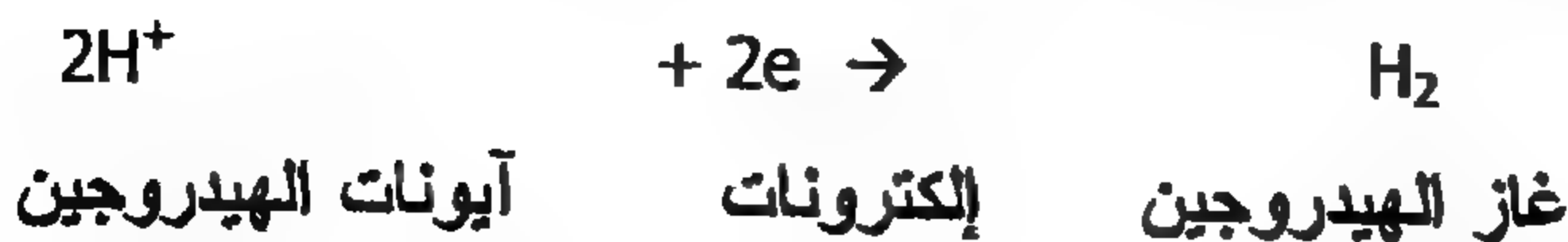
بالإضافة إلى مصدر الجهد (الفولت) ، فإنه يلزم وجود دائرة كهربائية كاملة تتكون دائرة عملية التآكل من أربع أجزاء.

1- الأنود : الأنود هو الجزء من سطح المعدن الذى يتآكل. وهو النقطة التى عندها يذوب المعدن، أو يذهب إلى المحلول. عند إذابة المعدن فإن ذرة المعدن تفقد إلكترونات وتتحرك إلى المحلول فى شكل أيون نظراً لأن ، الذرات تحتوى على أعداد متساوية من البروتونات (الجسيمات موجبة الشحنة) ، الإلكترونات (جسيمات سالبة الشحنة)، فإن فقد الإلكترونات سيترك زيادة من الشحنات الموجبة، الأيون الناتج يكون موجب الشحنة. التفاعل الكيماوى للحديد هو:

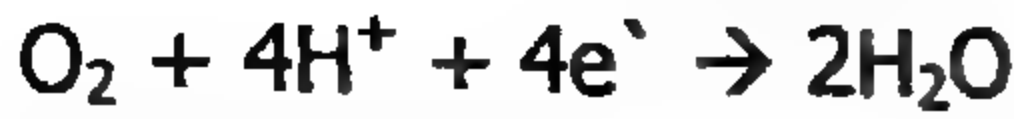


فقد الإلكترونات يسمى الأكسدة. أيون الحديد يذهب إلى المحلول، وعدد اثنين إلكترون يظلوا فى المعدن.

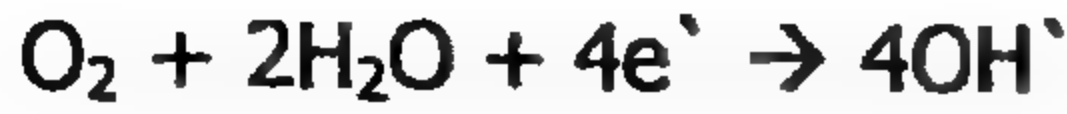
2- الكاثود: الكاثود هو الجزء من المعدن الذى لا يذوب، ولكنه موقع لتفاعلات كيماوية أخرى ضرورية لعملية التآكل. الإلكترونات المتروكة عند الأنود بإذابة الحديد تسير خلال المعدن إلى سطح الكاثود حيث تستهلك بالتفاعل مع عامل مؤكسد بوجود فى الماء. استهلاك الإلكترونات يسمى تفاعل الاختزال. التفاعل هو:



كما أنه في حالة وجود الأكسجين فإنه يمكن حدوث أحد تفاعلين :



(محاليل حامض)



(محاليل متعادلة أو قلوية)

لذا فإن التفاعل عند نقطة الأنود ينتج إلكترونات والتفاعلات عند نقطة الكاثود تستهلك الإلكترونات. هذه هي الظاهرة الأساسية للتفاعل الكهروكيميائي، حيث تنتج الإلكترونات بالتفاعل الكيماوي عند نقطة معينة ، ثم تنتقل إلى نقطة أخرى حيث تستخدم بتفاعل آخر. سريان التيار الكهربى هو فى الواقع مرور الإلكترونات من نقطة إلى أخرى ، ويقال أن سريان التيار الكهربى هو عكس اتجاه حركة الإلكترونات. لذلك، فإن سريان الإلكترونات من نقطة الأنود إلى منطقة الكاثود يسبب سريان التيار الكهربى فى الاتجاه المعاكس لسريان الإلكترونات ، من الكاثود إلى الأنود. ويجب أن نعرف أن موصل التيار ما بين الكاثود والأنود هو خلال المعدن، حيث أن الممر المعدنى ما بين الأنود والكاثود يجب أن يكون موصل كهربى.

3- الإلكتروليت: لاستمرار التفاعلات التى سبق ذكرها ولإكمال الدائرة الكهربائية، فإن سطح المعدن (الذى يشمل كلا من الأنود والكاثود) يجب أن يكون مغطى بمحلول موصل للكهرباء. هذا المحلول هو المسمى بالإلكتروليت. كما سبق توضيحه فإن الماء النقى يعتبر إلكتروليت ضعيف ، ولكن التوصيل الكهربى يزداد بسرعة بزيادة الأملاح المذابة. الإلكتروليت يعمل على توصيل التيار من الأنود إلى الكاثود، التيار يسرى بعد ذلك من الكاثود إلى الأنود خلال المعدن (أو خلال سلك موصل التيار بين الأنود والكاثود) وبذا تكتمل الدائرة. مخطط لخلية التآكل موضح فى الشكل (1/1) على سطح المعدن، الشكل (1/2) يوضح مخطط توضيحي للدائرة الكهربائية لحدوث التآكل فى حالة معدنين مختلفى الجهد بينهم سلك توصيل ومغمورين فى الإلكتروليت. ليس بالضرورة إذابة أيونات المعدن فى نقطة واحدة على سطح المعدن، وكذلك ليست نقطة الكاثود محددة على منطقة معينة من سطح المعدن. ففى حالة التآكل الموضعى (Localized Corrosion) فإن هذا

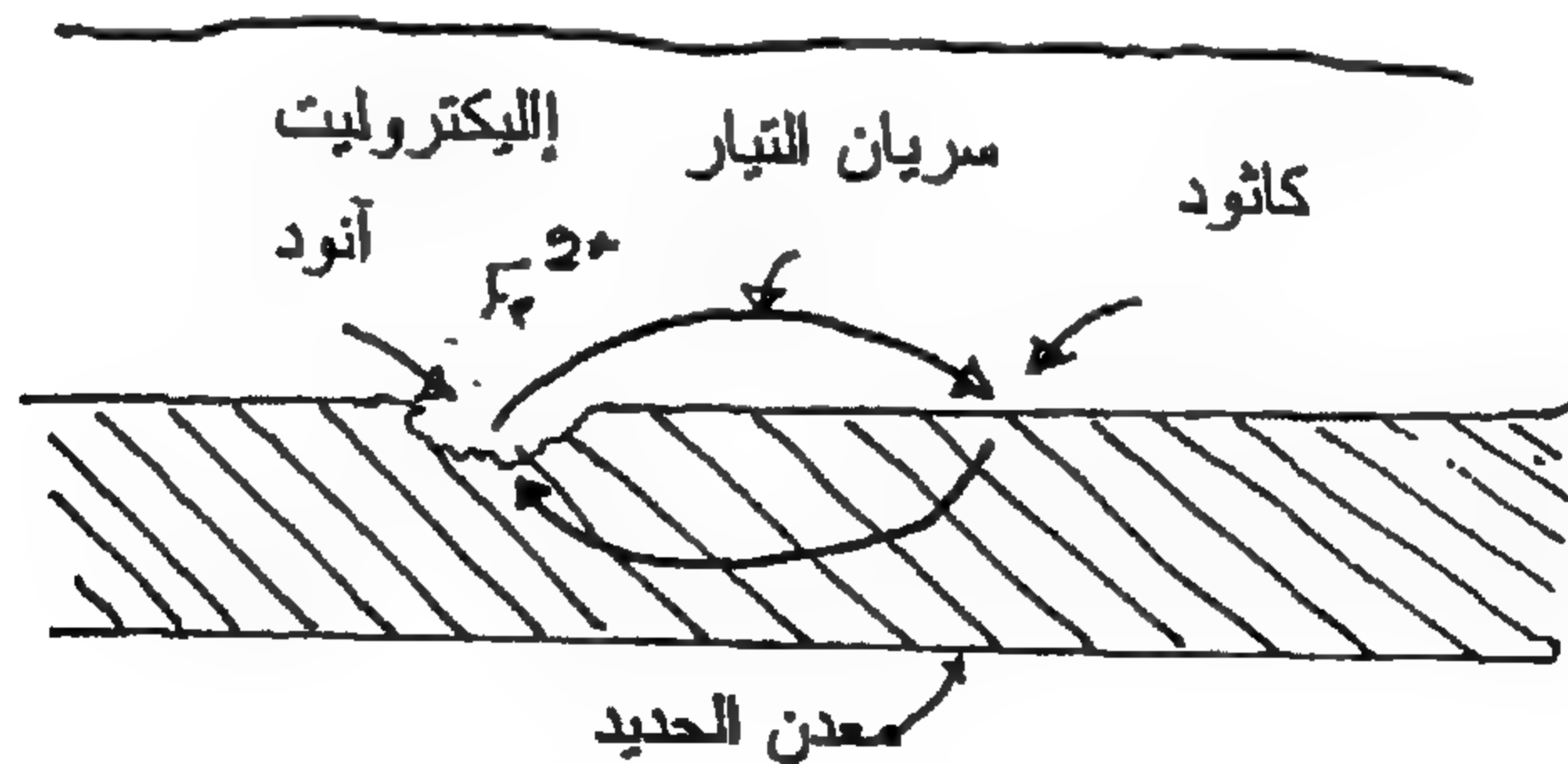
التآكل يمكن أن يكون تآكل تقبي (Pit) وهو محدود في أماكن محددة. كما قد يكون التآكل في شكل تآكل عام (General Corrosion) حيث يكون عشوائياً على سطح المعدن. ولكن يبدو سؤال هام وهو لماذا أماكن معينة من سطح المعدن تعمل كأنود، وأماكن أخرى تعمل كاثود؟ وإن كان السبب هو عدم التجانس على سطح المعدن، أو عدم التجانس في الإلكتروليت أو في كليهما. فإن نوع التآكل الذي يحدث يوفر الإجابة عن السبب الرئيسي سواء بالنسبة لطبيعة المعدن أو الإلكتروليت.

#### 4- طبيعة المعادن، تأثير مكونات الإلكتروليت :

##### أ - طبيعة المعادن (Nature of Metals) :

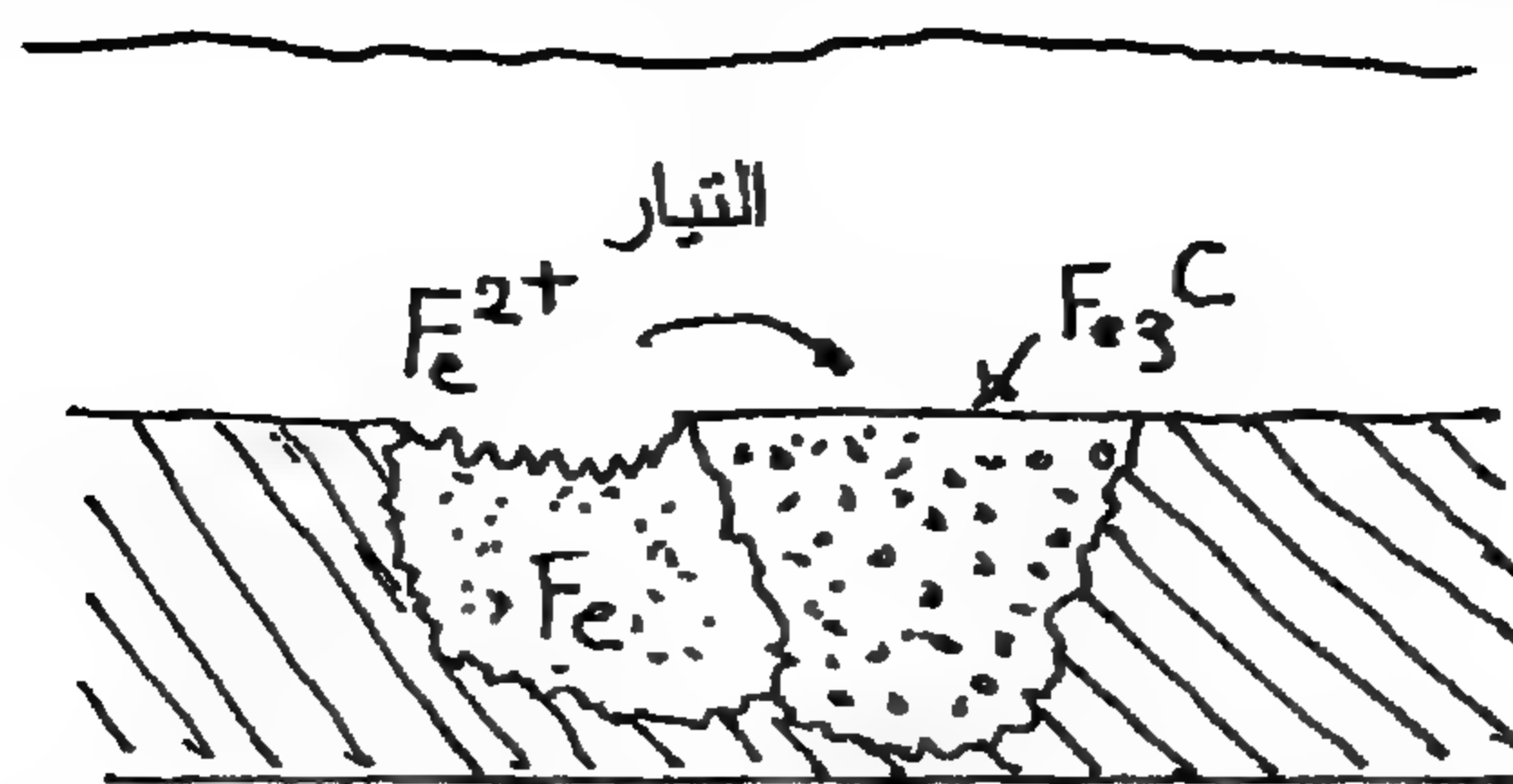
المعادن التجارية ليست متجانسة ولكنها تحتوى على شوائب، وترسيبات، وكذلك مجالات متعددة مختلفة. فعند التصاق المعدن بالإلكتروليت فإنه يحدث فرق جهد بين هذه المجالات مسبباً وجود خلايا تآكل على سطح المعدن.

فمثلاً الصلب هو سبيكة من الحديد والكربون. الحديد النقي ضعيف وهو مادة لها قصافة (هشاشة)، ولكن عند وجود كميات صغيرة من الكربون (حوالى من 0.1 إلى 1%) فإنه ينتج مادة أكثر قوة وهى سبيكة الصلب. ولكن نتيجة تفاعل جزء من الحديد مع الكربون، فإنه يكون لدينا معدن مكون من مادتين وهما الحديد المحتوى على الكربون المذاب وكربيد الحديد ( $Fe_3C$ ). كربيد الحديد يكون موزعاً خلال الحديد كجزر ميكروسكوبية رقيقة. كربيد الحديد استعداداً للتآكل أقل من الحديد النقي.



شكل (1/1) مخطط توضيحي لتدفق التيار والإلكترونات في خلية تآكل موضعي على سطح معدن الحديد في الإلكتروليت





شكل (1/2) مخطط لسريان التيار ما بين الحديد وحببيات كربيد الحديد حيث يحدث التآكل للحديد

مكان المناطق الأنودية والكاثودية لحالات التآكل الميكرونية (Micro Cells) قد يتغير مع الوقت. مع تراكم نواتج التآكل فإن توزيع الجهد على سطح المعدن قد يتغير، حيث تتغير الأماكن الأنودية. التآكل البيئي للحببيات يكون بسبب ويتم تنشيطه باختلاف الجهد بين الحبيبات والفواصل بين الحبيبات. التسخين الموضعي يمكن أن ينتج عنه تغير في طبيعة المجالات (Phases) أو مكوناتها، بما ينتج عنه اختلاف في الجهد لذلك، فإن المعادن هي مواد غير متجانسة، وأن الاختلاف في الجهد على سطح المعدن هو نتيجة طبيعية، هذه الاختلافات هي أحد الأسباب الرئيسية التي تنشط تفاعلات التآكل الموضعي.

#### ب- تأثير مكونات الأليكتروليت :

يوجد عاملين بالنسبة لتأثير مكونات الأليكتروليت على التآكل، ذلك الذي يؤثر على التوصيل وذلك الذي يؤثر على جهد التآكل للنظام. الأخير يعتمد على وجود أو عدم وجود عوامل الأكسدة اللازمة للأداء الكاثودي لتفاعل خلية التآكل. تلك هي العوامل الهامة ذلك لأن التفاعل الأنودي لا يمكن حدوثه في غياب التفاعل الكاثودي، ذلك بصرف النظر عن التوصيل الكهربائي للأليكتروليت. في مجال إنتاج البترول والغاز، يوجد عاملين مساعدين للتآكل (عوامل أكسدة) في معظم مشاكل التآكل. وهما كبريتيد الهيدروجين (حموضة) والأكسجين.

#### (1) التوصيل الكهربائي: زيادة الأملاح المذابة في الأليكتروليت تزيد من التوصيل

الكهربائي وبالتالي، تزيد من معدل التآكل، ولكن المياه المالحة الخالية من الأكسجين تصبح غير عدوانية. وجود الغازات المذابة المسببة لانخفاض الرقم الهيدروجيني

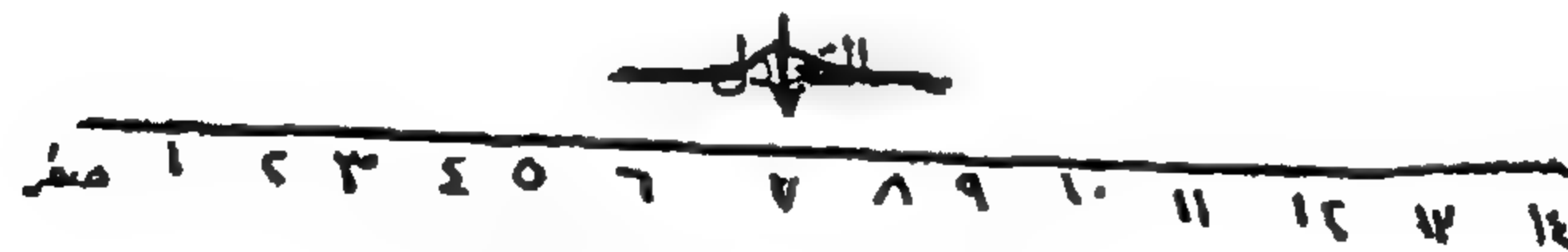
للاليكتروليت يمكن أن تزيد من عدوانية الاليكتروليت ضعيف التوصيل الكهربى. فى حقل البترول حيث الخليط بين الزيت والماء. الماء شديد الملوحة على التوصيل الكهربى والزيت غير موصل والخليط من الزيت والماء يمكن أن يكون غير موصل فى حالة استحلاب الماء فى الزيت.

(2) الرقم الهيدروجينى (pH - value) : الرقم الهيدروجينى للماء يعبر عنه عادة كرقم ما بين صفر، 14 وهو اللوغاريتم السالب لتركيز أيون الهيدروجين.

$$pH = -\log [H^+]$$

مع زيادة تركيز أيونات الهيدروجين كلما زادت حموضة المحلول وانخفض الرقم الهيدروجينى . الرقم الهيدروجينى 7 (pH=7) يعنى أن المحلول متعادل، زيادة الرقم الهيدروجينى تعنى زيادة القلوية وكذلك الرقم الهيدروجينى أقل من 7 يعنى زيادة الحموضة.

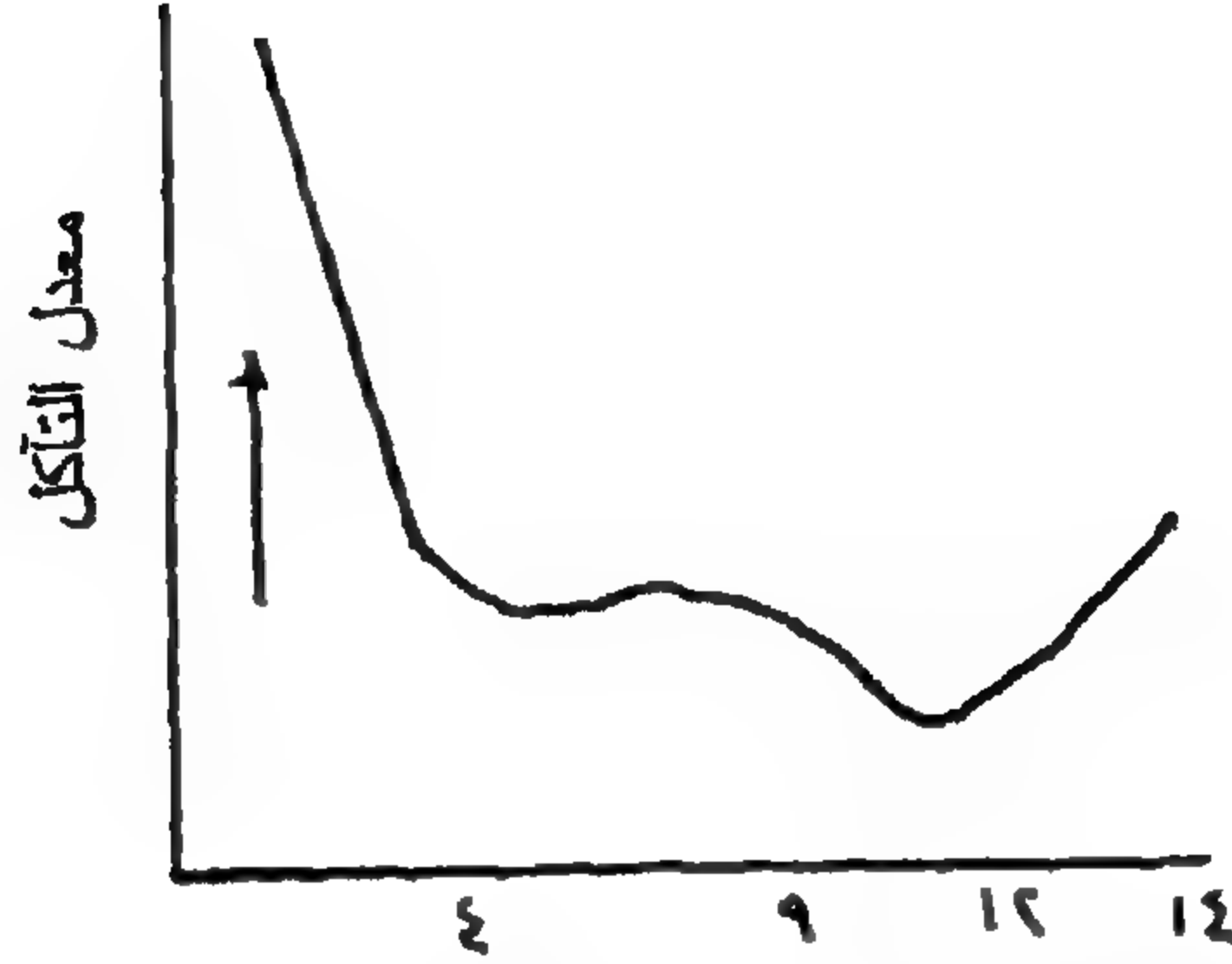
نظراً لأن الرقم الهيدروجينى هوة دلالة لوغاريتمية فإن المحاليل ذات رقم هيدروجينى 6، 5، 4 هى 10، 100، 1000 ضعف حموضة المحلول عند رقم هيدروجينى 7. أيون الهيدروجينى ( $H^+$ ) يحول المحلول إلى الحالة الحامضية حيث يدفع الرقم الهيدروجينى فى اتجاه الصفر. أيون الأيوركسيد ( $OH^-$ ) يحول المحلول إلى الحالة القلوية ويدفع الرقم الهيدروجينى إلى أعلا شكل (1/3).



شكل (1/3) مخطط الرقم الهيدروجينى

معدل التآكل للصلب يزداد عادة مع انخفاض الرقم الهيدروجينى للماء. وكذلك فإن القلوية العالية جداً للمحاليل يمكن أن تكون عدوانية. التغير العام لمعدل تآكل الصلب مع الرقم الهيدروجينى موضح فى الشكل (1/4). ولكن التغير الحقيقى لمعدل التآكل مع الرقم الهيدروجينى يتوقف على مكونات الماء أو الاليكتروليت. فى كثير من حالات المياه المالحة وكذلك المياه ذات العسر العالى وخاصة عندما تكون درجات الحرارة مرتفعة، قد

تتكون ترسيبات من إيدروكسيدات الحديد أو الكربونات على سطح الصلب وهذه تمنع أو تبطئ من حدوث التآكل.



شكل (1/4) منحنى معدل تآكل الصلب طبقاً لتركيز أيون الهيدروجين في الأليكتروليت

### 3- الغازات المذابة :

وجود الغازات المذابة (الأكسجين، ثاني أكسيد الكربون، كبريتيد الهيدروجين) يزيد من العدوانية، في الواقع الغازات المذابة هي السبب الرئيسي للتآكل. ففي حالة إمكان التخلص منها مع المحافظة على الرقم الهيدروجيني في حالة التعادل أو الحالة القلوية قليلاً فإنه يمكن خفض مشاكل التآكل.

(أ) الأكسجين المذاب : الأكسجين هو أهم عامل لتنشيط التآكل، حيث يمكن أن يحدث تآكل حاد ولو كان بتركيزات قليلة لأقل من واحد جزء في المليون. أما في حالة وجود ثاني أكسيد الكربون أو كبريتيد الهيدروجين أو كليهما فإن ذلك يزيد من العدوانية. يجب معرفة أن الأكسجين لا يوجد في المياه الجوفية. أما في حالة وجوده فيكون ذلك نتيجة تعرض هذه المياه للهواء الجوي. ماء البحيرات والبحار والمسطحات المائية عموماً يكون مشبعاً بالأكسجين، أما الماء من الآبار الضحلة قد يحتوى على قليل من الأكسجين المذاب.

إذابة الأكسجين في الماء يكون بدلالة الضغط ودرجة الحرارة والمحتوى من الكلوريد. الأكسجين أقل إذابة في المياه المالحة عن المياه العذبة. تآكل الأكسجين يحدث بالتفاعلات الآتية :





الأكسجين يعجل التآكل في معظم الظروف، ذلك لأنه قوى (يوفر جهد كهروكيميائي عالى) وعامل أكسدة سريع في التفاعلات الكاثودية. وهذا يعنى أنه يتحد بسهولة مع الإلكترونات عند الكاثود. وهذا يعنى أنه سوف يتحد مع الإلكترونات بسهولة عند الكاثود ومن ثم العمل على استمرار تفاعل الكاثود بمعدل يتحدد أساساً طبقاً لمعدل انتشار الأكسجين نحو الكاثود. من المهم معرفة أن عدوانية المياه النقية تزداد بزيادة المحتوى من الأكسجين المذاب إلى حد معين. ففي حالة وجود أكسجين كافى في الماء فإن أكسدة الحديدوز إلى الحديدك ( $\text{Fe}^{2+} \rightarrow \text{Fe}^{3+}$ ) قد تحدث بسرعة، وذلك قبل أن تتسرب أيونات الحديدوز ( $\text{Fe}^{2+}$ ) بعيداً عن سطح المعدن. في هذه الحالة يمكن أن يتكون أيروكسيد الحديدك  $\text{Fe}(\text{OH})_3$  على سطح المعدن ويصبح طبقة حماية ولكن في حالة وجود أيونات كلوريد كافية فإنها تتدخل مع طبقة الحماية مع استمرار معدل التآكل ليزداد مع زيادة تركيز الأكسجين.

(ب) ثانى أكسيد الكربون المذاب : عند إذابة ثانى أكسيد الكربون في الماء، فإنه يكون حامض الكربونيك، وبذا ينخفض الرقم الهيدروجيني للماء وتزداد العدوانية. وهو ليس عدوانى مثل الأكسجين ولكنه يسبب التآكل الثقيل.

→ (حامض كربونيك)

→ (ناتج التآكل)

التآكل الذى يكون أساساً بسبب ثانى أكسيد الكربون يسمى التآكل الحلو (Sweet Corrosion) لوجود  $\text{CO}_2$  وعدم وجود  $\text{H}_2\text{S}$ .

بالإضافة إلى الحموضة الناتجة عن ثانى أكسيد الكربون، فإن الأحماض العضوية ذات الوزن الجزيئى المنخفض مثل حامض الأسيتيك تساعد فى حدوث التآكل، هذه الأحماض نادراً ما تكون السبب الرئيسى فى التآكل الحلو "Sweet" ولكن أحياناً تقوم بدور رئيسى فى تحديد معدل حدوث التآكل.

حيث أن ثاني أكسيد الكربون له هذا الدور في التآكل الحلو، فإنه سوف يتم تناول بعض العوامل التي تتحكم في سلوكه. العوامل الهامة الخاصة بإذابة ثاني أكسيد الكربون في الماء هي الضغط، درجة الحرارة، ومكونات الماء، الضغط يزيد من الإذابة حيث ينخفض الرقم الهيدروجيني شكل (1/5). درجة الحرارة تقلل من الإذابة وتعمل على رفع الرقم الهيدروجيني (1/6)، وكثير من الأملاح المعدنية المذابة قد تسبب الدري للماء (Buffer) أي عدم خفض الرقم الهيدروجيني.

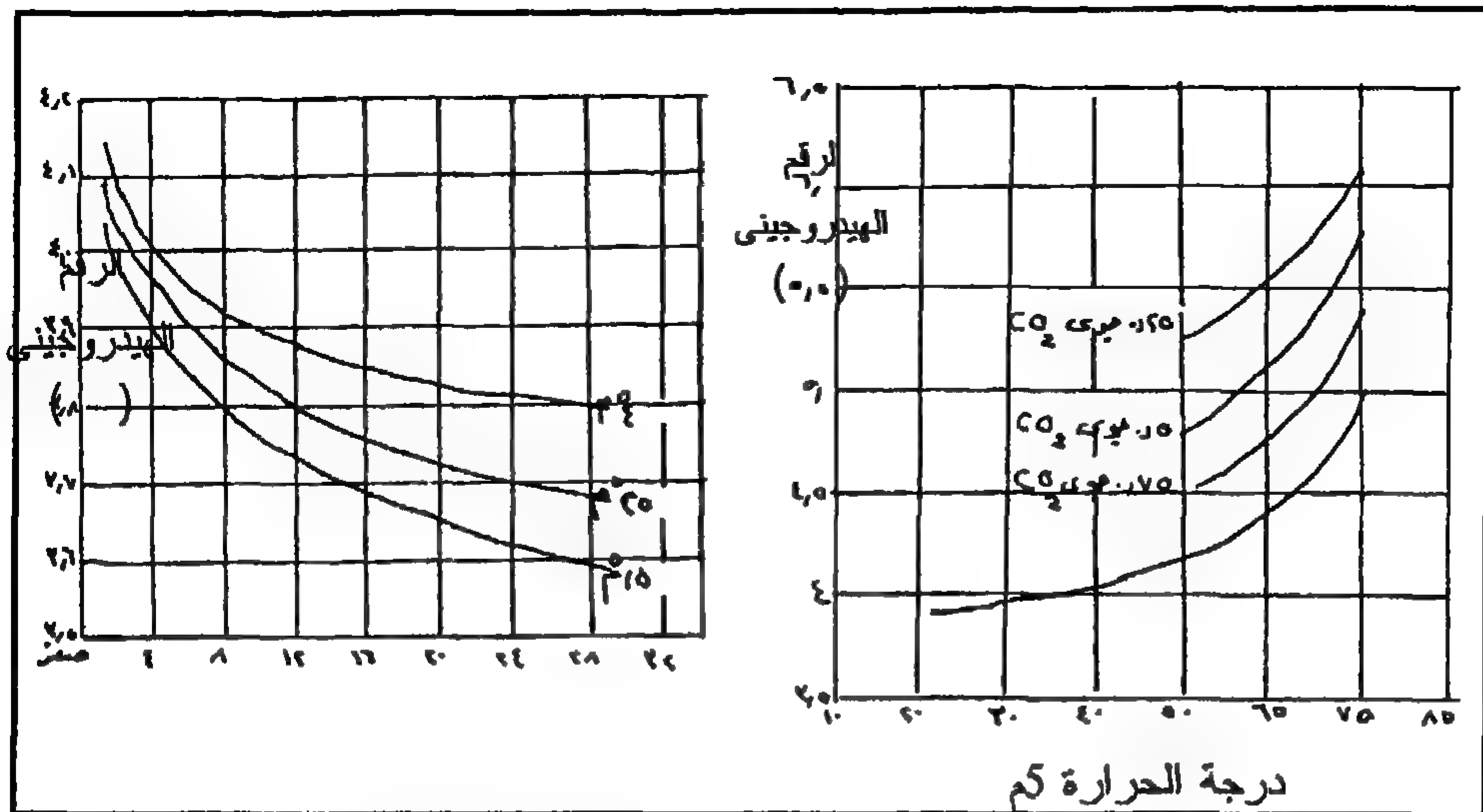
في حالة بئر الغاز المكثف (Gas Condensate Well) حيث توجد قليلاً من الأملاح المعدنية المذابة ودرجة الحرارة المرتفعة نسبياً، فإن الضغط هو العامل الحاكم الذي يؤثر على إذابة ثاني أكسيد الكربون. في الواقع فإنه يمكن استخدام الضغط الجزئي (Partial Pressure) لثاني أكسيد الكربون كمقياس لتقدير عدوانية آبار الغاز المكثف. يمكن تعيين الضغط الجزئي لثاني أكسيد الكربون بالمعادلة التالية.

الضغط الجزئي = الضغط الكلي × نسب جزئيات CO<sub>2</sub> في الغاز (Molfraction).  
فمثلاً: في بئر حيث الضغط عند القاع 3500 رطل/البوصة المربعة، ومحتوى الغاز من ثاني أكسيد الكربون هو 2%.

. . . الضغط الجزئي = 0.02 × 3500 = 70 رطل/البوصة المربعة عند قاع البئر  
وباستخدام الضغط الجزئي لثاني أكسيد الكربون كأداة لتقدير التآكل فإنه يتم استخدام العلاقة التالية

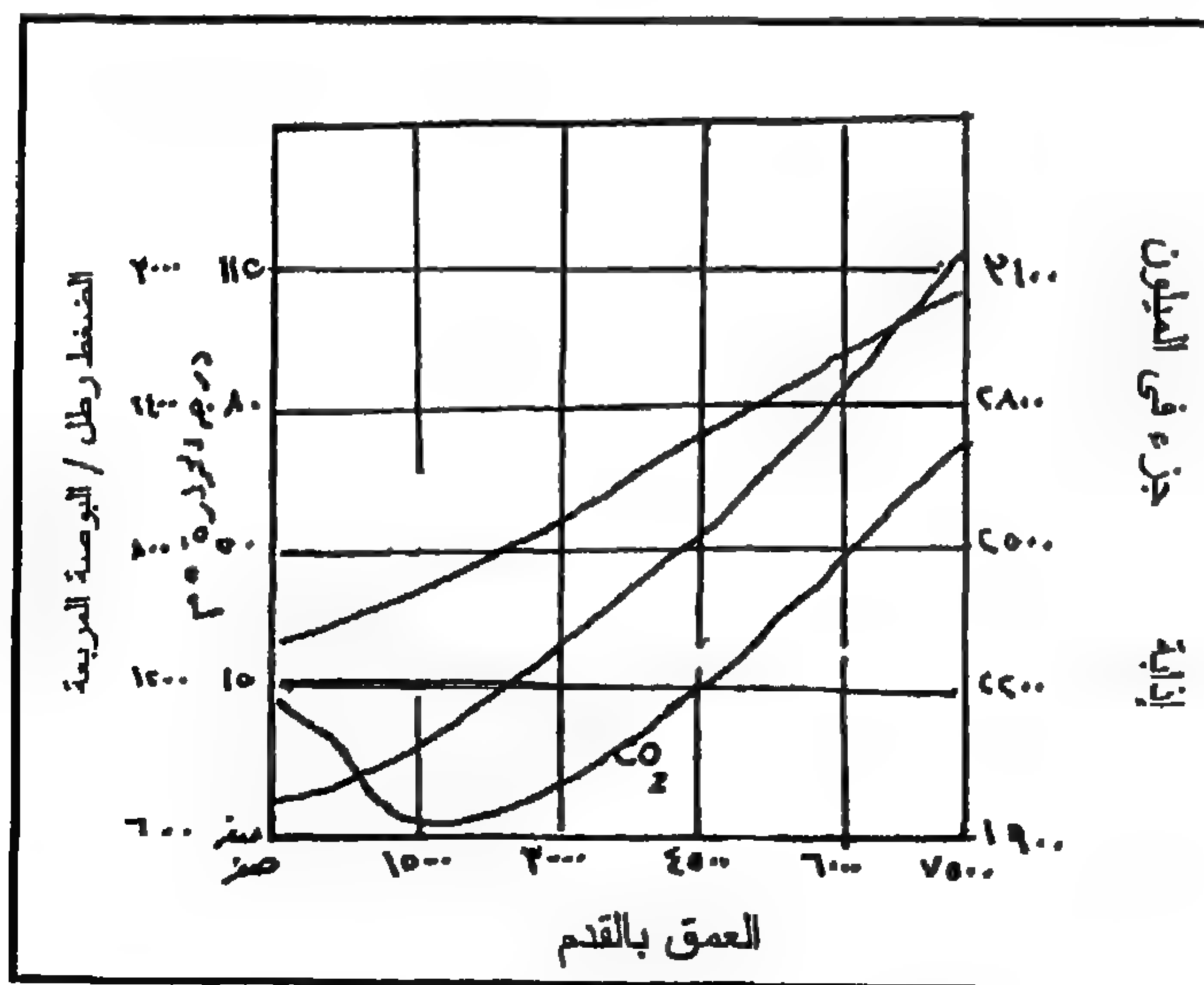
- الضغط الجزئي 30 رطل / البوصة المربعة عادة يظهر حدوث تآكل.
- الضغط الجزئي ما بين 3 إلى 30 رطل/البوصة المربعة يظهر احتمال حدوث التآكل.
- الضغط الجزئي أقل من 3 رطل/البوصة المربعة يعتبر عادة غير عدواني.

المياه المالحة المنتجة عادة بواسطة آبار الزيت الخالية من الكبريت (Sweet Oil) تحتوي على مواد معدنية مذابة والعلاقة السابقة لا تنطبق دائماً. ولكن يحدث التآكل عادة عند ارتفاع المحتوى من ثاني أكسيد الكربون. كتقريب أولى فإن الضغط الجزئي لثاني أكسيد الكربون يفيد في تقدير عدوانية آبار الزيت الخالي من الكبريت (Sweet Oil Wells) الإذابة المحسوبة لثاني أكسيد الكربون في بئر زيت خالي من الكبريت موضح في الشكل (1/7).



شكل (1/6) تأثير درجة الحرارة على  
الرقم الهيدروجيني

الضغط الجزئي لثاني أكسيد الكربون -  
رطل / البوصة المربع  
شكل (1/5) تأثير الضغط الجزئي لأكسيد  
للكربون على الرقم الهيدروجيني لمياه



شكل (1/7) إذابة  
لبئر الزيت عند مختلف أعماق



(جـ) كبريتيد الهيدروجين المذاب: كبريتيد الهيدروجين شديد الذوبان فى الماء، وعند إذابته فإنه يعمل كحامض ضعيف وعادة يسبب التآكل النقبي (Pitting). العدوانية بسبب وجود كبريتيد الهيدروجين تسمى عادة تآكل حمضى (Sour Corrosion). وجود كلا من كبريتيد الهيدروجين وثانى أكسيد الكربون أكثر عدوانية من كبريتيد الهيدروجين فقط وهذا موجود أحياناً فى بيئة حقول البترول. هذا بالإضافة إلى أن وجود الأكسجين ولو بكميات صغيرة جداً يمكن أن يسبب كارثة. التفاعل العام للتآكل يمكن توضيحه ببساطة كالمعادلة:



رغم أن الحديد هو الموضح فى هذه المعادلة إلا أن المعادن الأخرى يمكن أن تتفاعل بنفس الطريقة مكونة كبريتيد المعدن. كبريتيد الحديد (FeS) الناتج عن هذا التفاعل يلتصق عادة على سطح الصلب كمسحوق أسود أو كشقور (Scales). هذه القشور تعمل على تعجيل التآكل الموضعى وذلك لأن كبريتيد الحديد يعمل كاثود بالنسبة للصلب، وهذا عادة ينتج عنه تآكل نقبي عميق.

بعض المشاكل الخطرة التى قد تكون نتيجة تآكل الكبريتيد هى التقرح الهيدروجينى (Hydrogen Blistering) وتشقق الكبريتيد (Sulphide Cracking)، حيث سيتم تناولهم فيما بعد.

يجب معرفة أن كبريتيد الهيدروجين يمكن كذلك تخليقه بالكائنات الحية الصغيرة فى مجال إنتاج البترول والغاز، المصدر الرئيسى للمشاكل هو البكتريا المختزلة للكبريتات (مثل: Desulfovibrio, Desulfaricans) هذه البكتريات تساعد فى التآكل بسبب قدرتها على النمو فى وجود كميات صغيرة من الأكسجين. الظروف اللاهوائية تحت تجمعات هذه البكتريا توفر خلية اختلاف التهوية مع معظم سائل الإليكترولايت بما ينتج عنه التآكل السريع أسفل هذه التجمعات البكتيرية. العامل الثانى لحدوث التآكل فى

غيبة الأكسجين هو قدرة هذه البكتريا على اختزال أيونات الكبريتات إلى كبريتيد الهيدروجين. كبريتيد الهيدروجين يتفاعل مع الحديد فى المحلول مكوناً رواسب وقشور

من كبريتيد الحديد (FeS). قشور كبريتيد الحديد كاثودية بالنسبة للصلب بما يسبب تآكل المناطق الخالية من تراكم هذه القشور، وبالتالي إضافة حديد آخر إلى المحلول... الخ.

## 5- التغيرات الطبيعية :

أ- درجة الحرارة: مثل كل التفاعلات الكيماوية فإن معدل التآكل يزداد بارتفاع درجة الحرارة. ولكن مثل كل القوانين ، فإن ذلك له استثناءات كثيرة فمثلاً في حالة التعرض للهواء فإن معدل التآكل يزداد أولاً ثم يقل مع ارتفاع درجة الحرارة. وهذا يرجع إلى أن إذابة الغازات المذابة تقل مع ارتفاع درجة الحرارة. مع زيادة سخونة المحلول تحاول الغازات المذابة الخروج من المحلول ، بما يقلل من عدوانية الماء. لذلك فإن عدوانية الماء قد تزداد أولاً بسبب الزيادة في درجة الحرارة ثم تبدأ في الانخفاض عند اقتراب الماء من درجة حرارة الغليان بسبب انخفاض تركيزات الغازات المذابة. في النظام المغلق معدلات التآكل لا تنطبق على تلك الظاهرة، ذلك لأن ضغط النظام المغلق يمنع هروب الغازات من المحلول. عندئذ فإن معدلات التآكل تزداد مع ارتفاع درجة الحرارة كما هو متوقع في النظام المغلق.

ب- الضغط: الضغط يؤثر على معدلات التفاعلات الكيماوية، وكذلك فإن تفاعلات التآكل ليست استثناءً. في نظم مجال البترول، الأهمية الأولى للضغط هو تأثيره على الغازات المذابة. وهذا بالتالي يزيد من عدوانية المحلول.

ج- السرعة: السوائل الأسنة أو ذات السرعة المنخفضة يكون معدل حدوث التآكل منخفض ولكن من المحتمل حدوث التآكل الثقيل. معدلات التآكل عموماً تزداد بزيادة السرعة، ولكن السرعات العالية و/أو وجود المواد الصلبة العالقة أو فقاعات الغاز يمكن أن يؤدي إلى التآكل بالبري (Erosion) أو التآكل بالاصطدام (Impingement) أو التآكل الكهفي (Gavitation).

## 6- أشكال أو أنواع التآكل: (Forms of Corrosion) :

تلف المعادن يسبب التآكل له عدة أشكال. الفقد المنتظم للمعدن هو أحد أشكال التآكل العام، ولكن في عمليات الإنتاج والتصنيع للبترول فإن تآكل المعدن يكون غالباً في شكل

تآكل موضعي في شكل حفر أو في شكل مساحات موضعية كبيرة. هذا بالإضافة إلى أن المعدن يتشقق بسبب التآكل بدون فقد ملحوظ في المعدن ورغم أن بعض أشكال التآكل ليست موجودة في مجال الصناعات البترولية ولكن سوف يتم تناولها بغرض تكملة تناول الموضوع.

### أ- التآكل النقبي Pitting :

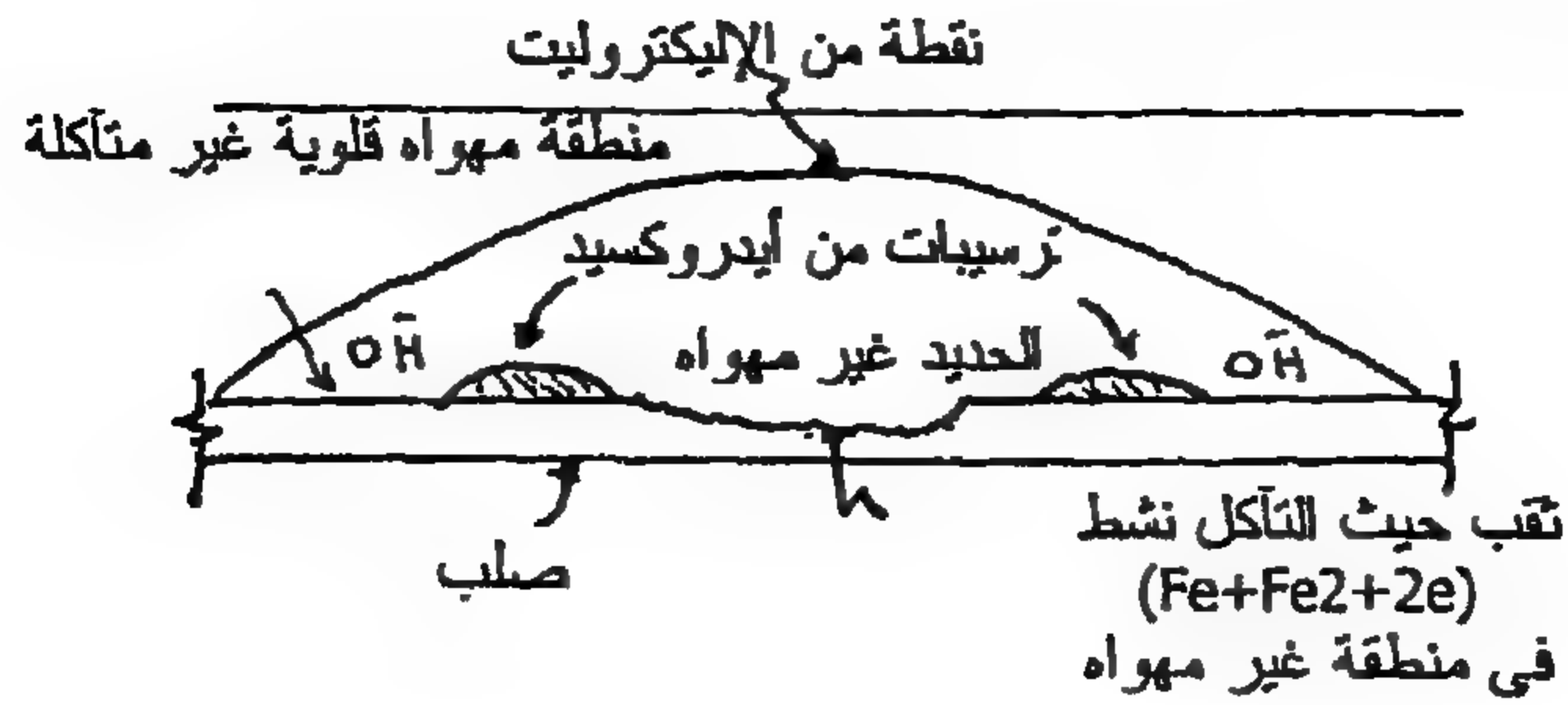
التآكل النقبي هو حدوث التآكل في أماكن محددة وليس على كل سطح المعدن، وكذلك تكون القوة الدافعة الكلية للتآكل مركزة في هذه المساحات الموضعية، كذلك فإن معدل التآكل عند المساحة التي يحدث فيها التآكل ستكون أكبر عدة مرات عن متوسط معدل التآكل على كل سطح المعدن. الثقوب الناتجة قد تكون كبيرة وضحلة أو صغيرة وعميقة. قياس قسوة وخطورة التآكل النقبي هو نسبة أعماق اختراق المعدن في المساحات الموضعية إلى متوسط اختراق المعدن محسوباً بالفقد الكلي للوزن. التآكل النقبي أكثر خطورة عن التآكل العام ذلك لأن المساحات المتقبة يمكن أن تحدث بها الثوب في زمن قصير.

### (1) خلايا التركيز (Concentration Cells) :

من الناحية النظرية توجد أسباب كثيرة للتآكل النقبي للمعادن والسبائك. كلها تتركز حول الاختلافات الموضعية في المعدن أو في الإليكتروليت الملتصق بالمعدن. الاختلاف الموضعي في تركيز الإليكتروليت يعرف بخلايا التركيز. وطبقاً لوضع معين فإن خلايا التركيز يمكن تسميتها خلايا اختلاف التهوية، خلايا أيون المعدن (Metal – Ion Cells) ، شقوق الترسيب (Daposit Crack) أو التآكل الحفري (Crevice Corrosion).

الشكل (1/8) مقطع لخلية اختلاف التهوية . الأمثلة لخلايا التركيز كالآتي:

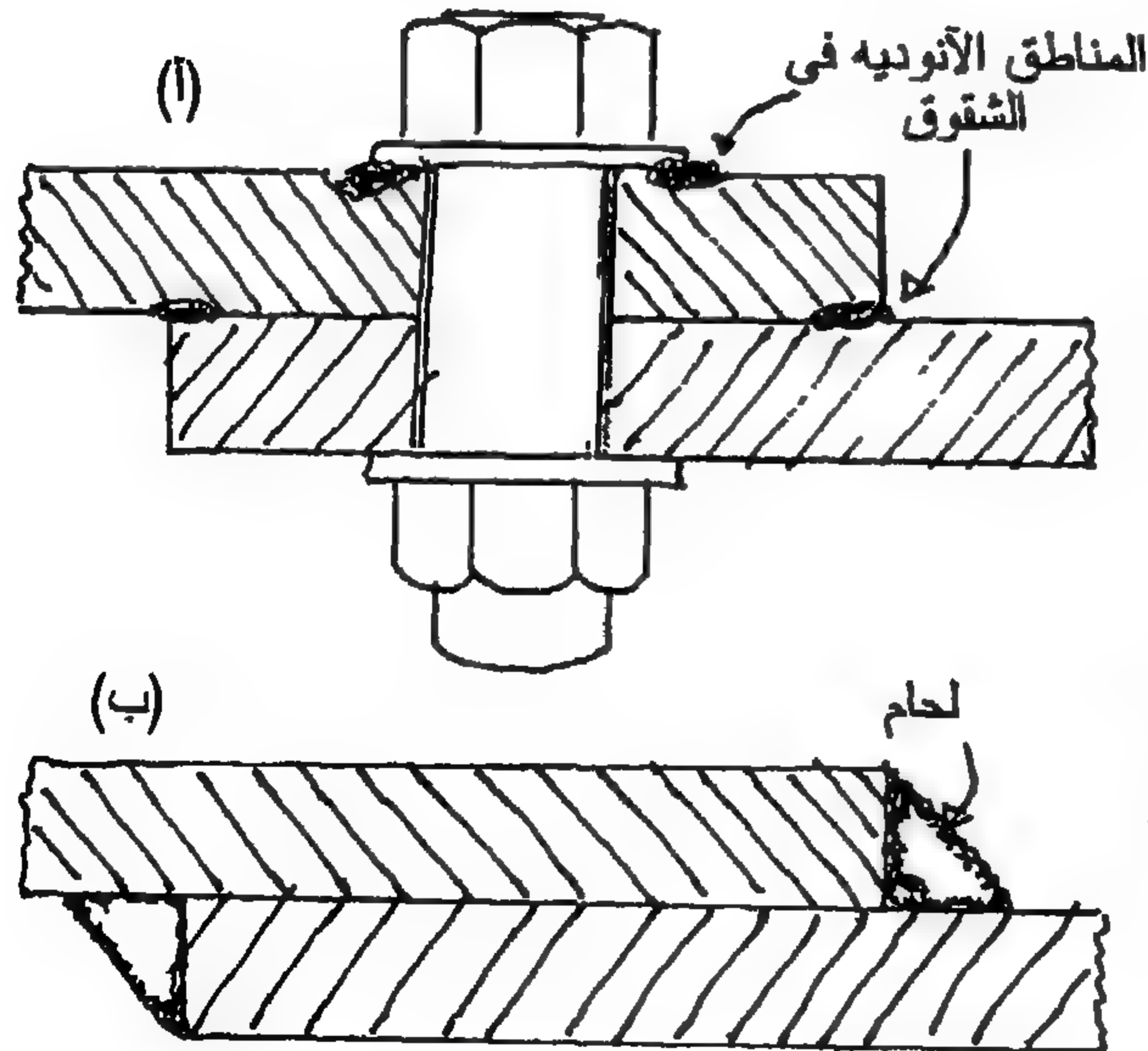




شكل (1/8) مخطط تفاعلات خلية تهوية . أطراف نقطة الإليكتروليت ذات محتوى عالي من الأكسجين بينما المنتصف منخفض من الأكسجين

### (أ) التآكل الفجوى أو الصدعى (Crevice Corrosion) :

الفجوات أو الشقوق تساعد على تكوين خلايا التركيز. وهذا قد يشكل خطورة فى النظم المهواة حيث الأكسجين فى الصدع أو الشق يمكن أن يستهلك بسرعة أكبر من عودة تسرب أكسجين إلى الصدع أو الشق. هذا يعمل على خفض الرقم الهيدروجينى فى الشق، حيث يكون المجال أكثر حموضة والذي يعجل من التآكل ويزيد من اختلاف الأكسجين . (شكل 1/9) يوضح أحد حالات هذا التآكل.



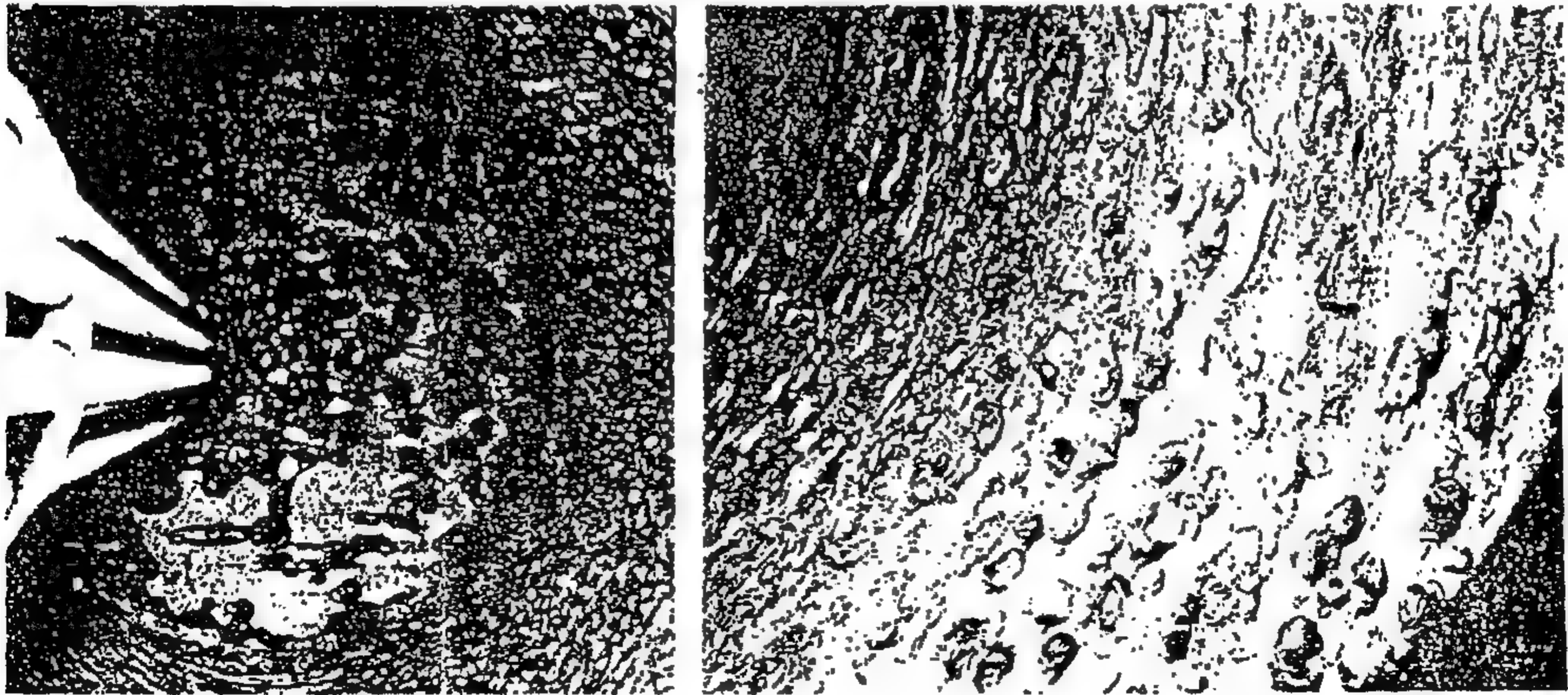
شكل (1/9) مثال للتآكل الفجوى عند وصلة الرباط (أ). الشكل (ب) اللحام للوصلة لتجنب التآكل

## (ب) درنات الأكسجين : (Oxygen Tubercels) :

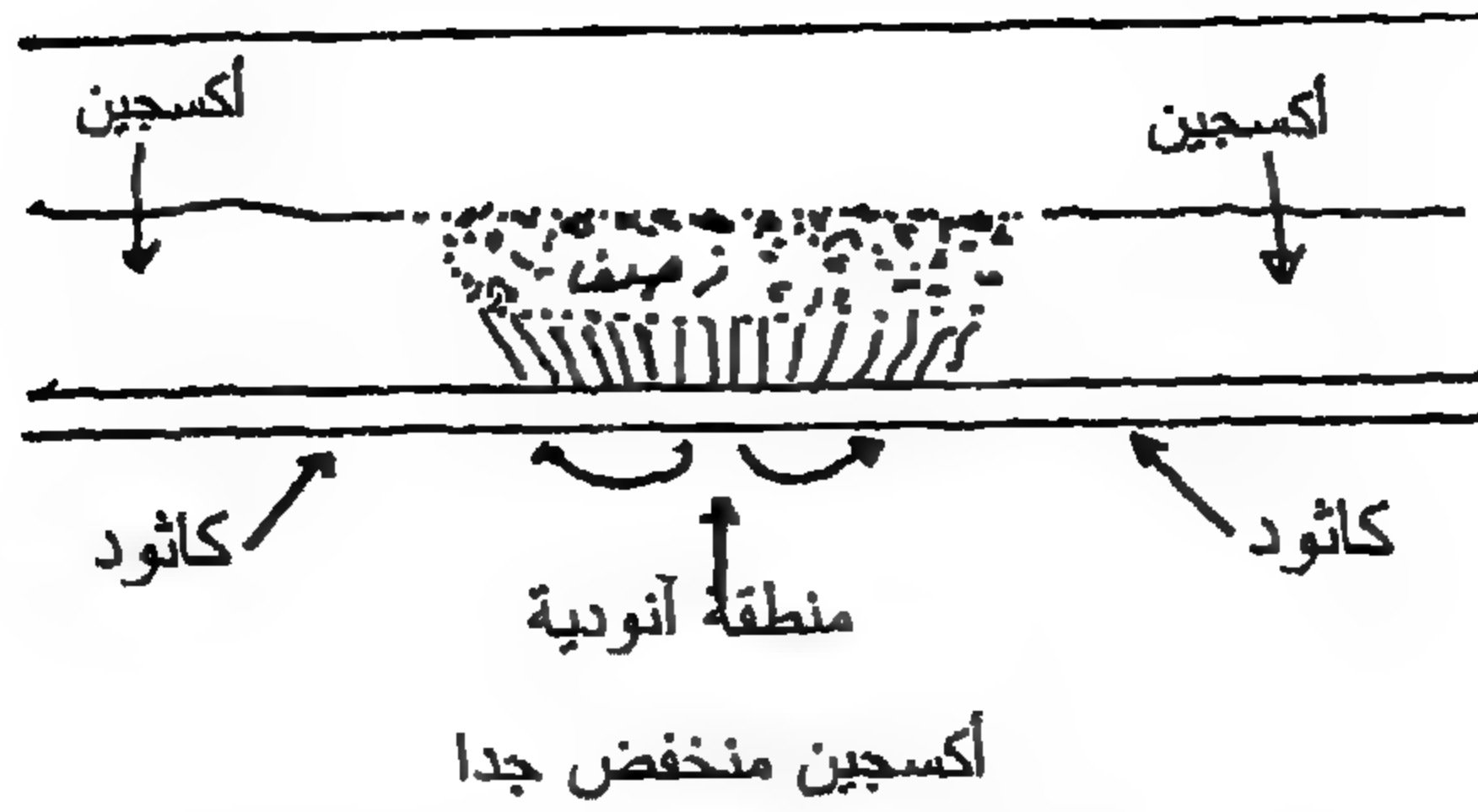
درنات الأكسجين هي أحد أشكال التآكل النقبي والتي تكون نتيجة نفس نوع آلية التآكل الفجوى. وهذه يتم تنشيطها من خلال تكون طبقة مسامية من أيدروكسيد الحديد والتي تحمى جزئياً سطح الصلب، حيث يحدث التآكل فى المساحات التى لا يصلها الأكسجين بسبب اختلاف تركيزه وكذلك بسبب نمو وتكاثر البكتريا. شكل (1/10).

## (ج) خلايا اختلاف التهوية: (Differential Aeration Cells) :

تعتبر منطقة التقابل بين الماء والهواء هي كمثال لخلية اختلاف التهوية. ذلك لأن الماء على السطح يحتوى على أكسجين أكثر عن الماء قليلاً تحت السطح. هذا الاختلاف فى التركيز يمكن أن يسبب تآكل أسفل سطح الماء مباشرة. مثال آخر عند دفن خط المواسير فى التربة المحتوية على كميات مختلفة من الأكسجين عند مناطق معينة على طول الخط. فى هذه الظروف، تكون الماسورة فى التربة الموهوة جيداً تعمل ككاثود، والماسورة فى التربة ضعيفة التهوية ستكون هى الأنود وتتآكل. فى الشكل (1/11) نجد الماسورة أسفل طريق مرصوف والتي تلتصق بتربة ذات إمدادات محددة من الأكسجين ومقارنتها بماسورة على كلا جانبي الطريق حيث التربة غير مغطاة بطبقة رصف بما يوفر الأكسجين لذلك فإن التآكل أسفل الرصف يمكن أن يكون حاداً.



شكل (1/10) مثال لدرنات نواتج التآكل المؤكسدة



شكل (1/11) مثال خلية تركيز الأكسجين التي تؤثر على خط المواسير كما هو موضح حيث يتأثر التآكل يتحرك من المنطقة الأنودية إلى المنطقة الكاثودية

#### د- القشور والرواسب (Scales and Sludges):

ترسيب أى مواد صلبة على سطح المعدن حيث تكون هذه الترسبات غير محكمة الالتصاق وغير مسامية للحماية الكاملة لسطح المعدن يمكن أن تسبب زيادة التآكل أسفل الرواسب بسبب اختلاف التركيز. حتى أن القشور (Scales) المحكمة الالتصاق يمكن أن تسبب مشاكل في حالة تكوينها في أماكن منتشرة وليست بانتظام على سطح المعدن. تنشط البكتريا المختزلة للكبريتات في حالة عدم توفر الأكسجين أسفل هذه الترسبات والقشور، حيث تنتج كبريتيد الهيدروجين بما يسبب حدوث التآكل الثقبي الموضعي.

#### هـ- التآكل الثقبي للسبائك الحديدية :

#### - الصلب الكربوني (Carbon and Low alloy Steel) :

التآكل الثقبي للصلب الكربوني له أهمية خاصة بالنسبة لإنتاج البترول ذلك لأن معظم معدات إنتاج الزيت مصنوع من الصلب الكربوني ومن سبائك الصلب. التآكل الثقبي مشكلة في أعمدة المضخات الماصة (Sucker Rods) ، وفي المواسير والقيسونات ، وماسورة الحفر وكذلك بالنسبة للمعدات في الآبار وتلك التي على السطح.

السبب العادي للتآكل الثقبي في الصلب الكربوني هو لتكون خلايا موضعية بسبب التلف الجزئي لترسيبات الحماية (Protective Scales) عندما يصبح المعدن الذي يتآكل مغطى بنواتج التآكل و التي تكون كثيفة وملتصقة فأنها تحمي المعدن من عدوانية المجال



الملاصق ويتوقف التآكل. في حالة الإزالة لقشور ترسيبات الحماية من مناطق موضعية، عندئذ تصبح هذه المساحات أنودية بالنسبة للمناطق أسفل القشور التي لا تزال تحمي المناطق الأنودية تتآكل منتجة تآكل تقبي. كلا من كبريتيد الهيدروجين وثاني أكسيد الكربون هما مواد عدوانية التي تسبب التآكل التقبي في معدات الصناعات البترولية كذلك فإن الأكسجين هو سبب رئيسي للتآكل التقبي حتى في حالة وجوده بكميات صغيرة جداً.

### - الصلب المقاوم (Stainless Steels) :

الصلب المقاوم هو الأكثر عرضة من بين كل السبائك الحديدية للتآكل التقبي ذلك بسبب الصفات الخاصة بعدم الصدأ والتآكل (Stainless) الصلب المقاوم للصدأ يرجع مقاومته للصدأ بسبب تكون طبقة أكسيد رقيقة والقدرة على المحافظة على هذه الطبقة. في حالة تلف هذه الطبقة في مناطق معينة ، فإن تلك المساحات تصبح أنودية ويحدث بها ثقب نتيجة التآكل. الكلوريدات (بالإضافة إلى أنها تسبب تشقق وتآكل بفعل الإجهاد في الصلب المقاوم الأوستينيت) فأنها مؤثرة في اختراق طبقة الأكسيد على الصلب المقاوم وتسبب التآكل التقبي . سبب آخر عادي وهو استهلاك الأكسجين أسفل الترسيبات أو في المناطق المنخفضة والجيوب (Crevice) وعدم القدرة على توفير الأكسجين. بدون الأكسجين فإن هذه المساحات لا تستطيع المحافظة على استمرار طبقة الأكسيد وبذا تفقد الحماية ضد التآكل. من المهم في حالة الصلب المقاوم تجنب حالات الركود (الحالات الآسنة) والمحافظة على استمرار معدل التدفق ذلك لتجنب تراكم الرواسب والمخلفات والمحافظة على استمرار توفير الأكسجين لسطح الصلب المقاوم 316 حيث يضاف الموليبدنيوم إلى الصلب المقاوم الأوستينيت (Austenite Stainless Steel) عندئذ يحسن ذلك كثيراً من مقاومة التآكل التقبي.

### - سبائك أخرى :

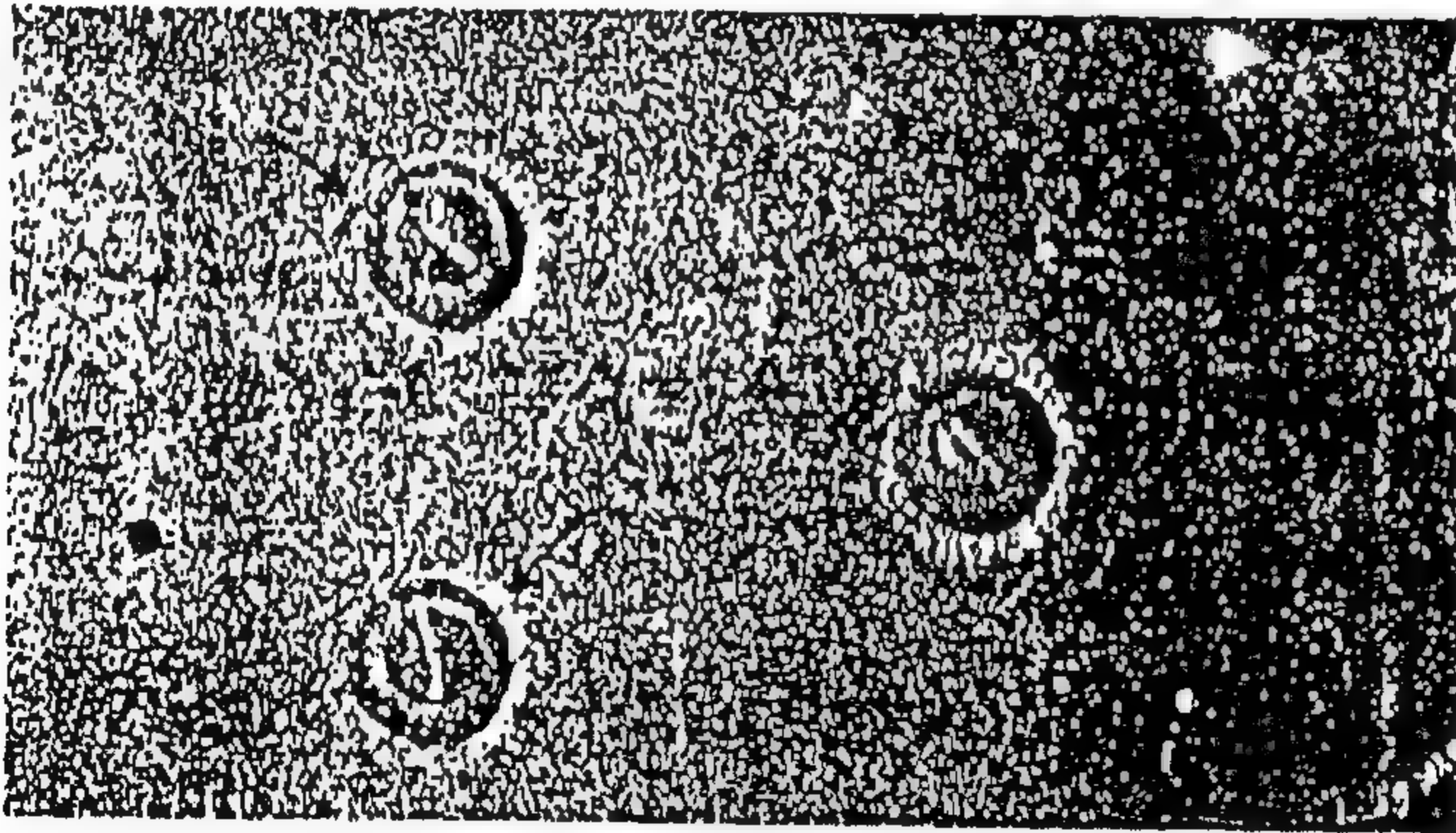
كل السبائك المستخدمة في مجالات عدوانية معرضة للتآكل التقبي في بعض الظروف بعض الأسباب العادية لحدوث التآكل التقبي هي خلايا التركيز أسفل الترسيبات

وعند الجيوب المنخفضة، التلف أو الكسور لطبقة ترسيبات الحماية ، وكذلك وجود أيونات عدوانية المسببة لفقد المناعة (Loss of Passivity).

#### (و) - التآكل لاختلاف المعادن المتصلة (Bimetallic Corrosion) :

عند التصاق معدنين مختلفين في اليكتروليت محتوياً على عامل مؤكسد، فإن المعدن الأكثر نشاطاً سوف يتآكل والآخر لا يتآكل. وهذا يسمى التصاق المعادن الغير متماثلة في الجهد شكل (1/12). هذا المبدأ مفيد في الحماية الكاثودية. عند التصاق الصلب بمعدن أكثر نشاطاً مثل المغنسيوم، فإنه تتم حمايته ولا يتآكل، حيث يصبح الصلب الكاثود والمعدن الأكثر نشاطاً يكون هو الأنود.

أحد القواعد العامة التي توضح تعجيل التلف في حالة التصاق المعادن الغير متماثلة في الجهد هو مبدأ المساحة (Area Principle). هذه القاعدة تنص على أن التآكل يتناسب مع المساحة الكاثودية الكلية المعرضة للإليكتروليت العدوانى. إذا كان هناك استعداد واضح لأحد المعادن أن يتآكل على حساب المعدن الآخر، كما في حالة النحاس فوق الحديد ، كلاهما معرض لمياه مالحة مهواه، فإن المعدن الأقل مقاومة هو الذى يحدث له التآكل (الحديد). لذلك فإن مسامير البرشام من الصلب فى سبيكة النحاس "مونيل Monell" أو فى لوح من النحاس تتآكل بسرعة كبيرة، ولكن مسامير البرشام من سبيكة المونيل فى ألواح الصلب تسبب تلف صغير. التآكل الكلى مقدراً بوزن الفقد فى المعدن يتناسب مع إجمالى المساحة الكاثودية المعرضة.



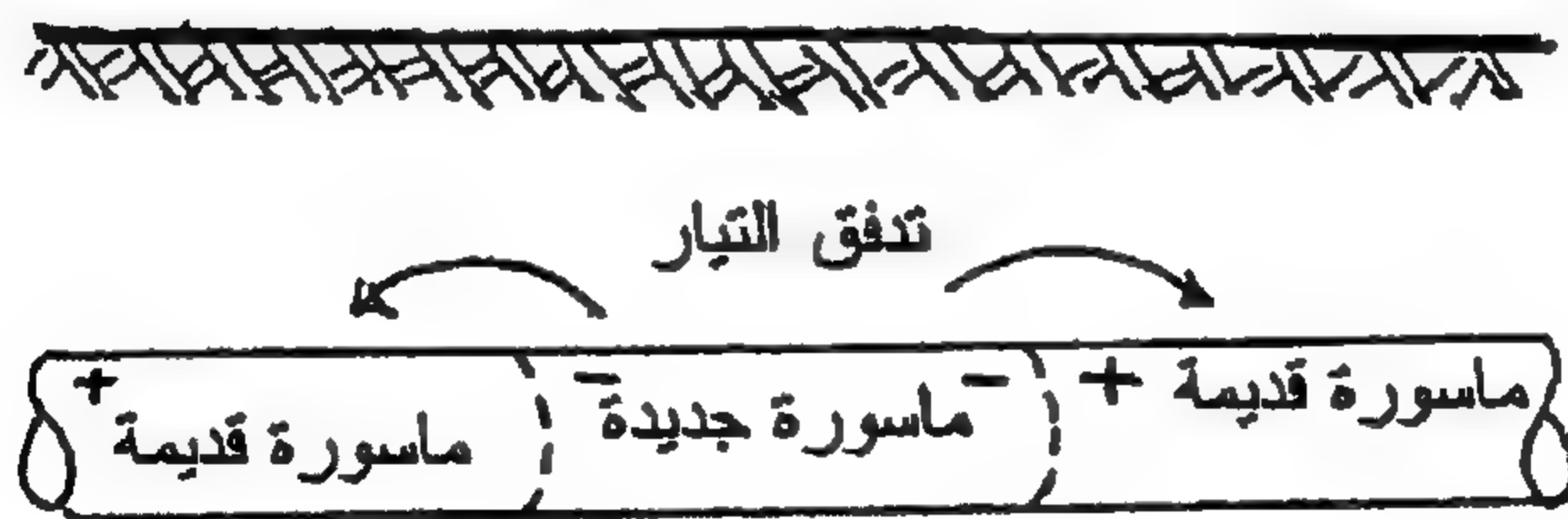
شكل (12) تآكل جلفنى بسبب التصاق المعادن الغير متماثلة فى الجهد حيث يظهر التآكل على معدن الأساس المجاور لمسامير الرباط

يجب استخدام مبدأ المساحة هذا مع بعض الحذر. ممثلاً، سالك النحاس يمكن أن يلتصق مع لوح من الألومنيوم في خزان مياه راكدة. بعد برهة، النحاس سوف يترسب على معظم سطح الألومنيوم، عندئذ فإن مساحة النحاس سوف تكون أكبر كثيراً عما توضحه نظرة عرضية.

في حالة التصاق المعادن الغير متماثلة في اليكتروليت متعادل وغير مهوى فإنه ليس بالضرورة حدوث تآكل، حيث يلزم مؤكسد مثل الأكسجين لاستمرار التآكل.

يمكن تطبيق مبدأ المساحة للتآكل التقبي لماسورة الصلب. عند خروج الماسورة من ورشة تصنيع الصلب فإنها تكون مغطاة بطبقة من القشور (Scale). هذه القشور موصل ضعيف للكهرباء وفي نفس الوقت لا تذوب في الماء أو في الأحماض الضعيفة. هذا يعني أن المساحة المغطاة بقشور. التصنيع تكون محمية وتعمل على تركيز التآكل حيث لا توجد هذه القشور. بعد فترة هذه القشور سوف تتفكك وبالتالي فإن تعجيل التآكل هام فقط في المراحل العمرية الأولى للماسورة.

المواسير الجديدة في خط مواسير قديم يحدث لها تآكل ذلك لأن الماسورة القديمة تكون مغطاة بطبقة كثيفة من الأكسيد والصدأ والتي تكون كاثودية بالنسبة للماسورة الجديدة.

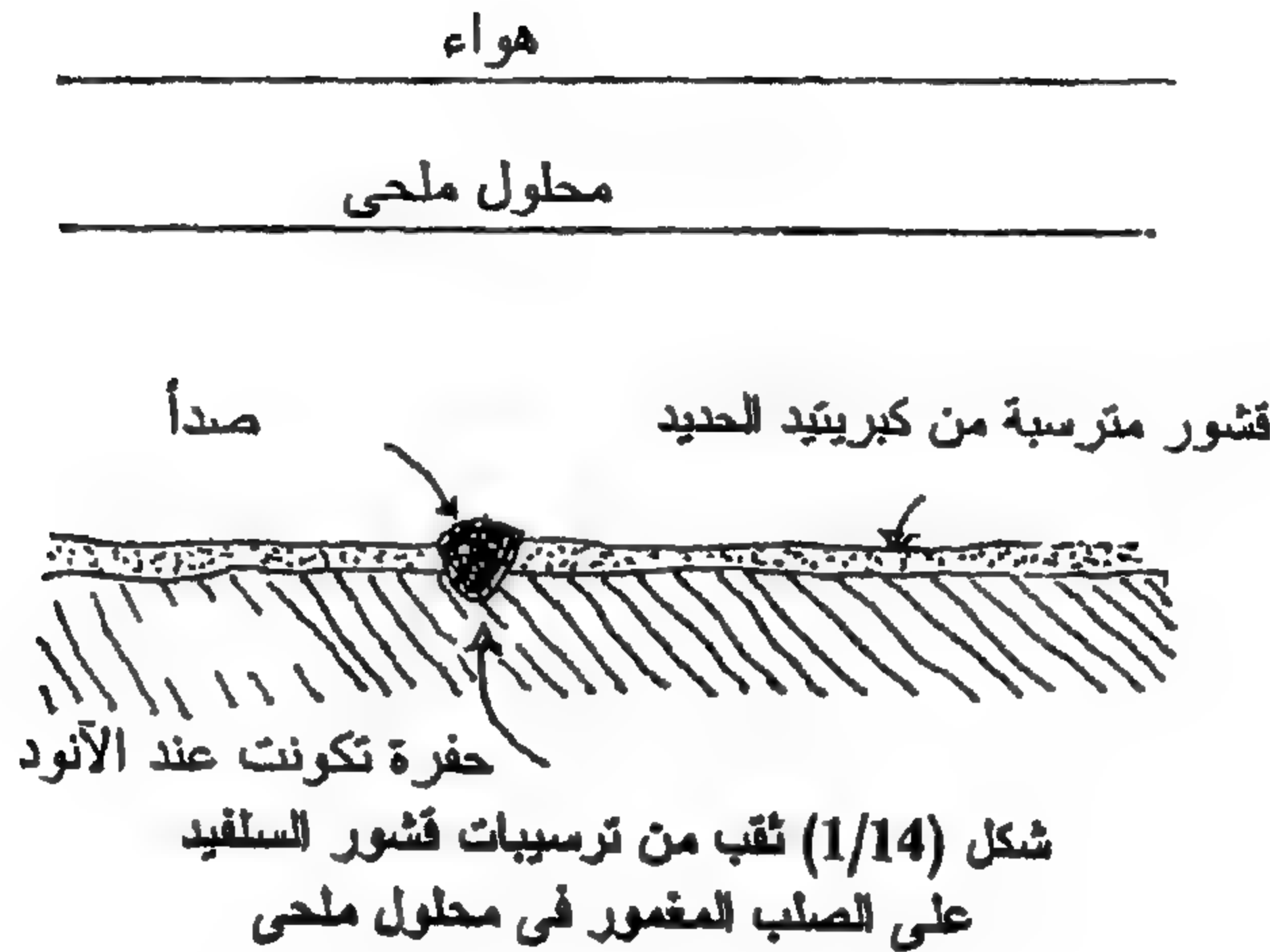


شكل (1/13) التآكل الكهروكيميائي لماسورة جديدة متصلة بماسورة قديمة

كثير من التآكل التقبي لماسورة الصلب المعرضة للماء يكون بسبب وجود قشور على السطح. كبريتيد الحديد (FeS) على سطح الصلب في أجزاء مختلفة من معدات بئر زيت البترول تسبب تآكل مشابه. هذا التأثير موضح في الشكل (1/14).



عند لحام معدن، فإن عملية اللحام ينتج عنها معالجة حرارية موضعية، حيث يوجد مكونات بنائية ميكرونية (Microstructure) قرب اللحام والتي تختلف عن مكونات معدن الأساس. المساحتين لهما استعداد مختلف للتآكل عندئذ يمكن حدوث تآكل لخط اللحام (Weldline)؟

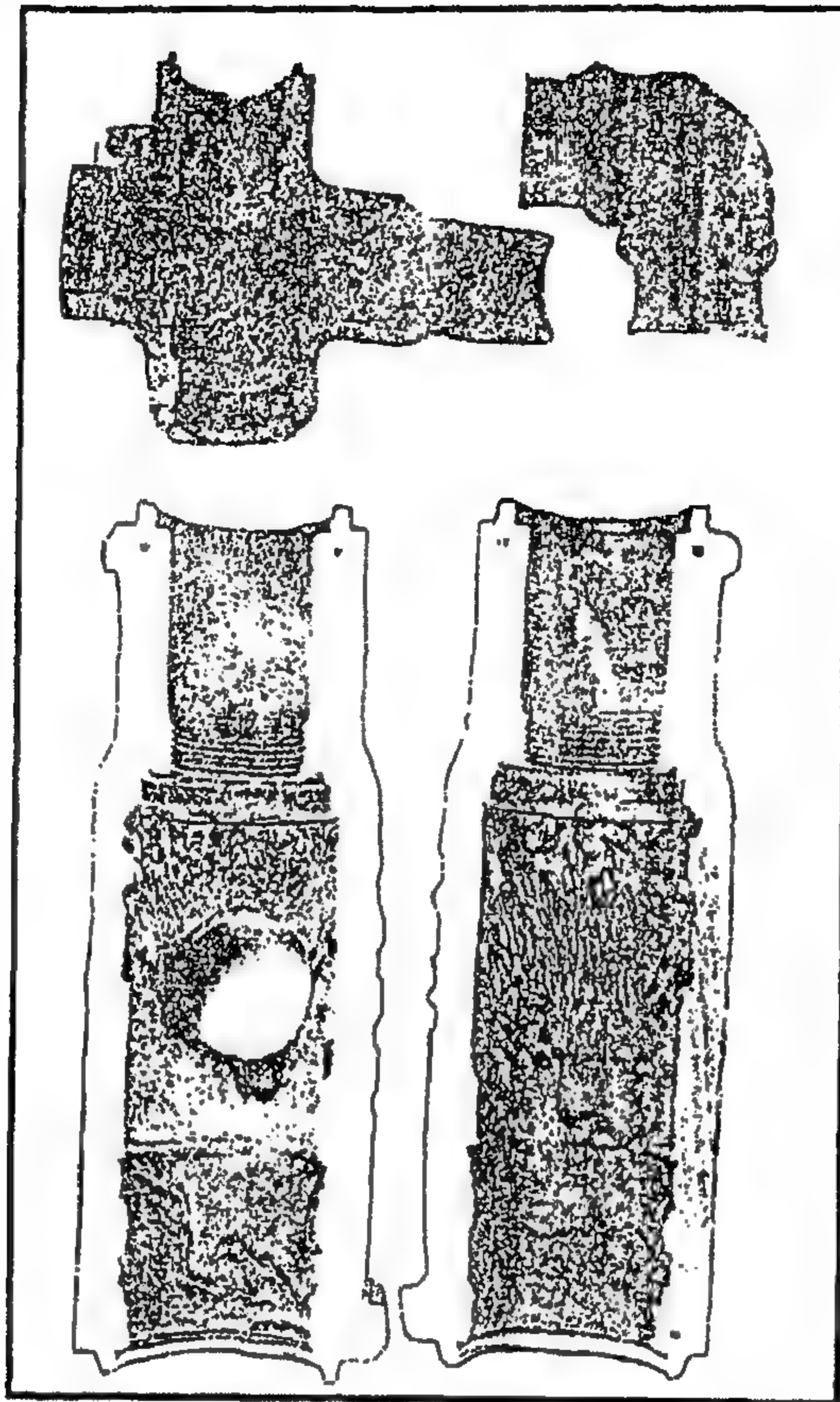


أحياناً يوجد نوع آخر من التآكل في مواسير آبار البترول أو الغاز (عملية المحتوية على محتوى عالي من ثاني أكسيد الكربون في المجال الغازي) والمعروف بتآكل بالدودة الحلقية (Ring Worm). طبقاً للتسمية فإن التآكل يحدث في حلقة عدة بوصات من التطريق أو الفلطحه (Upset). هذا التآكل يمكن أن يأخذ شكل التآكل الناعم جداً أو التآكل الثقبي الحاد قرب منطقة التطريق. السبب في التآكل في شكل الدودة الحلقية يرجع إلى عملية التطريق. الحرارة اللازمة للفلطحة بالتطريق تسبب وجود بقاء مختلف للحبيبات في النهاية التي تم تطريقها عن باقي الماسورة. منطقة الانتقال للبناء الجيلي (Grain Structure) قرب مسار التطريق تكون عادة حساسة للتآكل. هذه الحالة يمكن التغلب عليها بالتطبيع الحراري (Normalizing) التام للماسورة بعد التطريق. التطبيع الحراري هو أحد أشكال المعالجة الحرارية الذي يوفر التجانس للتركيب الحبيبي للمعدن.

## (د) - التآكل بالاحتكاك أو الاصطدام :

نظراً لأن معظم المعادن تكتسب مقاومتها للتآكل بسبب تكون طبقة حماية من الأكسيد واستمرارها، فإن إزالة هذه القشور من أملاح المعدن في أماكن موضعية يؤدي إلى التآكل السريع. التدفقات السريعة أو التدفقات المضطربة يسبب أحياناً إزالة لقشور الحماية حيث يتعرض جسم المعدن والذي يمكن أن يتآكل. هذا الجمع بين إزالة قشور الترسبات بالاحتكاك وتآكل المعدن أسفل هذه الترسبات يسمى التآكل بالاحتكاك وهو من الأسباب العادية في تلف معدات حقول البترول. الصلب الكربوني والصلب منخفض السبائك (Low Alloy Steel) هما بالتحديد عرضة للمجالات التي تكون القشور من أملاح المعدن مثل أملاح كربونات الحديد التي تزال بسهولة. هذه الإزالة وبالتالي حدوث التآكل غالباً ما يكون في مناطق معينة مثل التغيرات في المقاطع أو الوصلات حيث يوجد اضطراب في التدفقات أو عند الانحناءات والأكواع شكل (1/15).

الظاهرة التي تشبه التآكل بالاحتكاك ولكنها أكثر موضعية وهي ما تعرف بالاصطدام (Impingement). يحدث هذا عند اصطدام تيار التدفق على سطح المعدن ويتلف طبقات الحماية في أماكن صغيرة جداً نتيجة هذا الاصطدام هو تكون حفر طولى أو قطع أسفل التيار. يكون هذا الاصطدام عادة نتيجة الاضطراب الذي يحيط بالحبيبات الصغيرة الملتصقة بسطح المعدن. هذه المشكلة ظاهرة عملياً في سبائك النحاس والسبائك ذات الأساس من النحاس. الصلب المقاوم الأوستينيت له مقاومة لكل من عدوانية الاحتكاك والاصطدام.

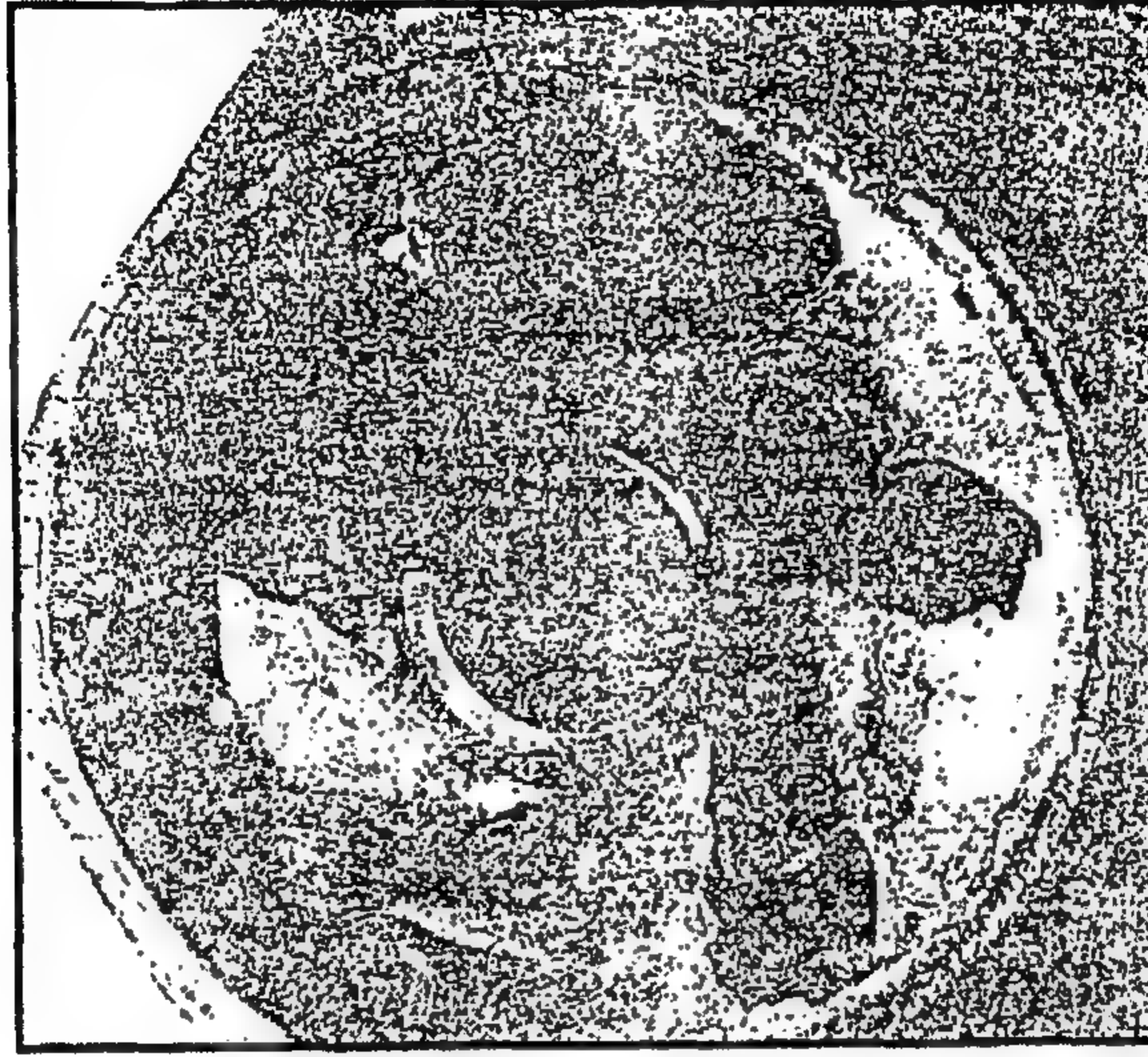


شكل (1/15) تآكل بالاحتكاك حيث يوجد الاضطراب  
أو حيث التغير الحاد في الاتجاه حيث تتآكل الترسيبات المزالة بسهولة

### (ز) التكيف (Cavitation) :

التكيف هو تكون وتصادم فقاعات البخار في السوائل (مثل الماء) ذلك بسبب التغيرات السريعة في الضغط. يمكن أن يحدث ذلك عندما يقل الضغط الكلي في نقطة ما في مسار التدفق للسائل إلى ضغط البخار للسائل حيث تتكون الفقاعات، حيث يلي ذلك ارتفاع سريع في الضغط بما ينتج عنه ارتطام الفقاعات. التلف بالتكيف (Cavitation Damage) هو البلى والحث (Wearing) للمعدن الناتج عن ضربات التصادم المتكررة من الفقاعات في السائل. عادة يلعب التآكل دور بسيط في معدل التلف بالتكيف. تحدث هذه الظاهرة في دافع الطلمبة (Impeller) بسبب تصادم الفقاعات في السائل على سطح الدافع شكل (1/16).





شكل (1/16) التآكل الكهفي الحاد لدافع الطلمبة  
بسبب اصطدام فقاعات السائل على سطح المعدن

### (ح) التآكل البيني للحبيبات : (Intergranular Corrosion) :

التآكل البيني للحبيبات هو التآكل الذي يحدث بين الحبيبات (عادة هناك خلط ما بين التآكل البيني للحبيبات والتآكل والتشقق بالأجهاد (Stress Corrosion Cracking) ، ولكن التآكل البيني للحبيبات يمكن أن يحدث في عدم وجود إجهادات، بينما التآكل والتشقق بالإجهاد يحدث فقط عندما يكون المعدن تحت الإجهاد). التآكل البيني للحبيبات حدث في كثير من السبائك بما فيها الصلب المقاوم الأوستينيت وسبائك النحاس والألومنيوم والنيكل. في معظم الحالات يكون التآكل البيني للحبيبات نتيجة البناء الميتاليرجي الذي يسبب أن تكون الفواصل البينية للحبيبات ذات قابلية للتآكل أكثر من الحبيبات نفسها . المعالجة الحرارية المناسبة أو ضبط المكونات الكيماوية للصلب يمكن أن يقلل من تعرض مكونات الفواصل البينية للحبيبات حيث تصبح السبيكة مقاومة لهذا النوع من التآكل.

أهم ظاهرة لحدوث هذا التآكل هي في الصلب المقاوم الأوستينيت حيث عند استمرار هذا الصلب أو بتبريده ببطء في مجال درجة حرارة ما بين 821°م إلى 427°م، فإن كربيد الكروم يرسب في الفواصل البينية للحبيبات ويصبح الصلب ذو حساسية (Sensitized). تعرض هذا الصلب الحساس للمحاليل الغير عدوانية مثل الأحماض

الضعيفة ينتج عنه تآكل بينى للحبيبات الجدول (1/2) يوضح المواد العدوانية التى تسبب التآكل البينى للحبيبات فى الصلب المقاوم الأوستينيت الحساس.

### جدول (1 / 2) بعض المواد العدوانية المسببة للتآكل

البينى للحبيبات فى الصلب المقاوم الأوستينيت:

الصودا الكاوية	درجة الحرارة المرتفعة
كبريتات النحاس	المياه عالية النقاء
كبريتات الألومنيوم	حامض النيتريك
حامض الهيدروكلوريك	حامض الأوكزاليك
حامض الهيدروفلوريك	مياه البحر
كبريتيد الهيدروجين	الصوديوم
ليثيوم	حامض الكبريتيك
أكسيد السيريوم	حامض بولى ثيونيك

توجد نظريات متعددة بسبب حساسية صلب الأوستينيت المقاوم ، من بين هذه النظريات أن ترسيب كربيدات الكروم يستنفذ المساحات المجاورة مباشرة لحدود حبيبات الكروم. هذه المناطق المستنفذة تصبح أنودية بالنسبة للحبيبات حيث تتآكل.

الحساسية أصعب مشكلة عند لحام الصلب المقاوم أو عند تعرضه لدرجة حرارة ما بين 427 إلى 821م. لمنع هذا التآكل البينى للحبيبات تستخدم طريقتين وهما المعالجة الحرارية والتحكم فى المكونات الكيماوية.

الصلب المقاوم يمكن تطبيعته بالمعالجة الحرارية ما بين 1066 - 1121م ثم التبريد السريع ، والذى لا يسمح بوقت الترسيب. معالجة أخرى هى استمرار الصلب عند درجة حرارة ما بين 871 إلى 899م لعدة ساعات، حيث يوفر ذلك انتشار الكروم من حدود الحبيبات والعودة إلى المناطق المستنفذة.

يمكن التحكم فى ترسيب الكربيدات (Carbides) بطريقتين الأولى هو باستخدام الصلب المقاوم بنسبة منخفضة جداً من الكربون (أقل من 0.03%) حتى لا يتوفر

الكربون الكافى للاتحاد مع الكروم. الطريقة الثانية هى بإضافة أما التيتانيوم أو النيوبيوم (Niobium) ، كلاهما ستكون قابليته للاتحاد مع الكربون أعلا من الكروم ينتج عن ذلك ترسيب لكربيد الكولومبيوم أو التيتانيوم كربيد، وليس كربيدات الكروم. الطريقة الأفضل تتوقف على التطبيقات المعينة.

### (ط) التلف بفعل ايلاج الهيدروجين: (Hydorgen Induced failure) :

ذرات الهيدروجين يمكن إنتاجها على سطح المعدن فى المجال المائى بواسطة تفاعل التآكل ، الحماية الكاثودية، الطلاء بالمعادن (electroplating) ، أو النظافة لسطح المعدن بالحامض (Acid Pickling). بعض من ذرات الهيدروجين تتحد لتكون هيدروجين جزئى غازى ( $H_2$ ) على سطح المعدن وتتطلق فى الهواء. بعض من هذه الذرات يمتص بواسطة المعدن، وهذا الدخول لذرات الهيدروجين فى المعدن يمكن أن يكون له تأثيرات ضارة، مثل التشقق، أو التبرثر أو التقرح (Blistering) ، تكون الميثان عند درجة حرارة أعلا من 204م، والقصافة الهيدروجينية (Hydrogen Embrittlement).

مواد معينة مثل أيون السلفيد (Sulfide Ions) ، الفوسفور ومركبات الزرنيخ تعمل كعامل وسيط فى ادخال الهيدروجين فى المعدن. فى وجود هذه المواد، يوجد تركيز أعلا لذرة الهيدروجين فى المعدن واحتمالات تأثيرات الهيدروجين تزداد بشكل ملحوظ.

### (1) التبرثر بالهيدروجين (Hydrogen Blistering) :

دخول الهيدروجين فى الصلب منخفض السبائكية يمكن أن ينتج عنه البثور الهيدروجينية فى حالة وجود عيوب ميكروسكوبية فى الصلب مثل التطابق أو الفجوات (lamination or Inclusion). أى ثقب فى الصلب يوفر مكان لذرات الهيدروجين لكى تتحد لتكون غاز الهيدروجين. عند تكون جزئ الهيدروجين الغازى حيث يصبح حجمه كبير بما يحد من خروجه ثانياً من الصلب ويزداد الضغط مع زيادة جزئيات غاز الهيدروجين حيث يحدث تبرثر (Blistering) . فى عمليات إنتاج البترول ، التبرثر الهيدروجين مشكلة أساسية فى المجال نادراً ما تسبب تلف بفعل القصافة، ولكن يمكن أن تسبب كسر وتسرب. أفضل وقاية هى باستخدام صلب نظيف أو مقاومة عملية التآكل.



## (2) القصفة الهيدروجينية (Hydrogen Embrittlement) :

دخول الهيدروجين في الصلب شديد القوة (High Strong Steels) يمكن أن ينتج عنه قصفة هيدروجينية. في مثل هذه الحالة فإن المادة يمكن أن تنهار في شكل قصفة (هشاشة) عند إجهادات أقل كثيراً من جهد الخضوع (Yield Strength). استثناء هذه الظاهرة للمواد عالية القوة قد يكون بسبب أنه فقط في مثل هذه المواد يمكن ارتفاع جهود الشد إلى حد تنشيط آلية الوصول إلى هذا الوضع. الهيدروجين الذي يؤدي إلى الهشاشة يمكن أن يحتجز أثناء صب المعدن المنصهر، ويمتص أثناء عمليات الطلاء المعدني أو نظافة المعدن بالحامض أو نتيجة تفاعل التآكل. في حالة وجود المعدن تحت إجهاد الشد العالي يمكن أن يحدث تلف القصفة (Brittle - Failure). ممر التلف يمكن أن يكون ما بين الحبيبات (Intergranular) أو عبر الحبيبات (Trans granular) ومن الصعب عادة التمييز للتلف الناتج عن القصفة الهيدروجينية، التآكل والتشقق بالإجهاد. يحدث التلف الناتج عن القصفة الهيدروجينية فقط مع الصلب عالي الإجهاد، ذلك الصلب حيث إجهاد الخضوع...9 رطل/البوصة المربعة أو أكثر. الحساسية للقصفة الهيدروجينية تزداد بزيادة القوة والصلابة.

التلف بفعل القصفة الهيدروجينية لا يحدث دائماً فوراً بعد استخدام الأحمال أو التعرض لمجال منتج للهيدروجين. عادة توجد فترة زمنية حيث لا يلاحظ أي تلف، يليها تلف مفاجئ وخطير. هذه الظاهرة تسمى التلف المتأخر. الفترة الزمنية قبل حدوث التلف هي فترة الحضانة (Incubation) أثناء تسرب الهيدروجين إلى النقط ذات الإجهاد ثلاثي المحاور (Triaxial). الفترة الزمنية لحدوث التلف تقل بزيادة كمية الهيدروجين الممتصة، إجهاد الضغط المسلط، مستوى قوة المادة.

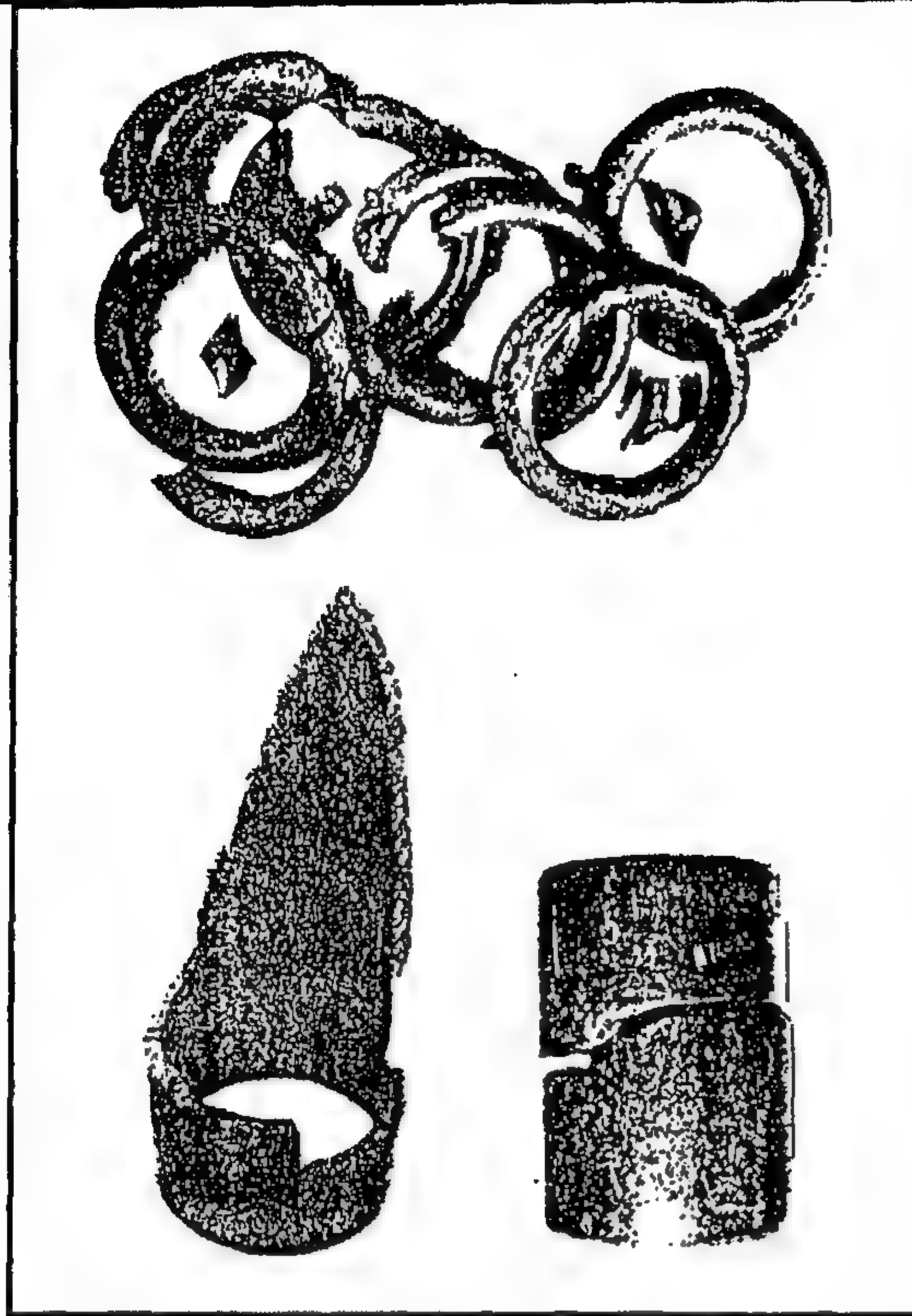
لحين التشقق الحقيقي للصلب المحتوي على الهيدروجين، لا يوجد تلف مستمر. في كثير من الحالات يمكن تحميص (Baked) الهيدروجين وطرده بالمعالجة الحرارية المناسبة، حيث يمكن استعادة الخواص الأولية للصلب. يحدث ذلك عادة بعد عمليات الطلاء الكهربى (Electroplating) لأجزاء الصلب على القوة.

## (3) التشقق الكبريتي بالإجهاد (SSC-Sulfide Stress Cracking)

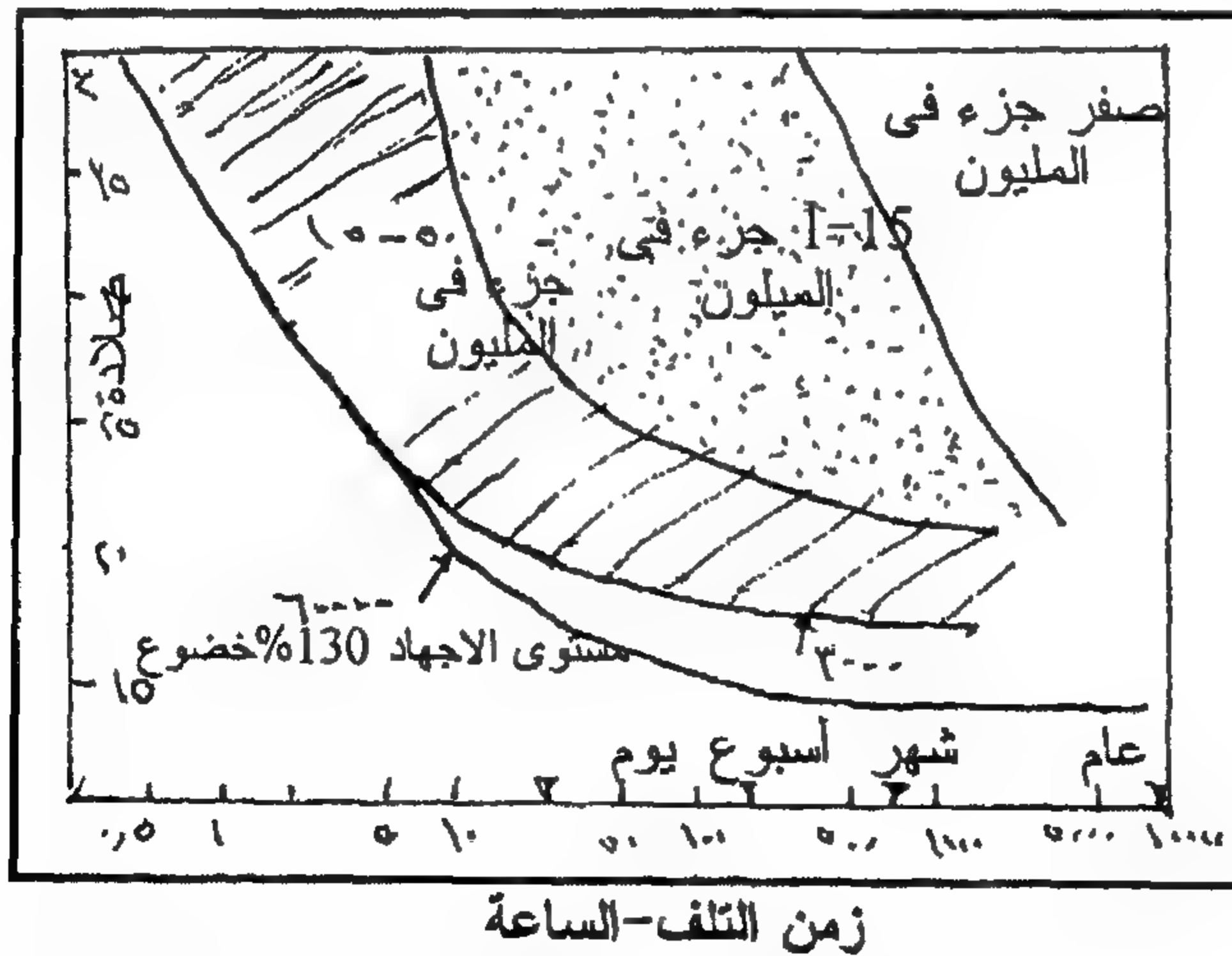
التلف الفوري بالقصافة الذي يحدث في الصلب والسبائك الأخرى عالية القوة عند التعرض لكبريتيد الهيدروجين ( $H_2S$ ) الرطب والمجالات الكبريتية الأخرى. يجب توفير الظروف الآتية قبل حدوث التشقق.

يجب وجود كبريتيد الهيدروجين ، أهمية وجود الماء ولو قليل من الرطوبة يكفى ، الصلب عالى القوة يجب مساهمته (مستوى القوة يختلف طبقاً للمكونات والبناء المجهرى للصلب) ، أن يكون الصلب تحت إجهاد الشد أو الحمل (الإجهاد يمكن أن يكون مستخدم أو متبقى) . فى حالة وجود كل هذه الظروف ، فإن التشقق الكبريتي بالإجهاد يمكن أن يحدث بعد فترة زمنية. من المهم معرفة أن التشقق الكبريتي بالإجهاد عادة لا يحدث فى الحال بعد التعرض للبيئة الحامضية، ولكن يمكن أن يحدث بعد ساعات، أيام أو سنين من الخدمة. حساسية المادة للتلف بهذه الآلية تتحدد أساساً طبقاً للمتغيرات الآتية :

- القوة أو الصلابة: الصلب الكربوني بقوة 90000 رطل/بوصة المربعة يعتبر عموماً لا يتأثر (Immune) ومقاوم للتشقق الكبريتي بالإجهاد. وهنا مقابل لصلادة (Hardness) بمقياس (Rickwell) بقيمة (RC22). الصلب بإجهاد خضوع أعلا من ذلك يكون معرض للتشقق. الشكل (1/18) يوضح الفترة الزمنية للتلف بدلالة الصلادة وتركيزات كبريتيد الهيدروجين . فى حالة سباكة الصلب مع مواد أخرى مثل النيكل فإن التلف يمكن أن يحدث عند مستوى صلادة أقل من (RC22). على العكس ، بعض المعالجات الحرارية يمكن أن ترفع منسوب أقصى صلادة مسموح بها أعلا من هذه القيمة.



شكل (1/17) مثال للتآكل بالتشقق والإجهاد الكبريتي  
زمبرك من الصلب الكربوني (الأعلى)، اليسار تلف الماسورة اليمين تلف الجبلية



شكل (1/18) زمن تقريبي للتلف للصلب الكربوني في 5%  
كلوريد صوديوم ومختلف أجزاء في المليون من



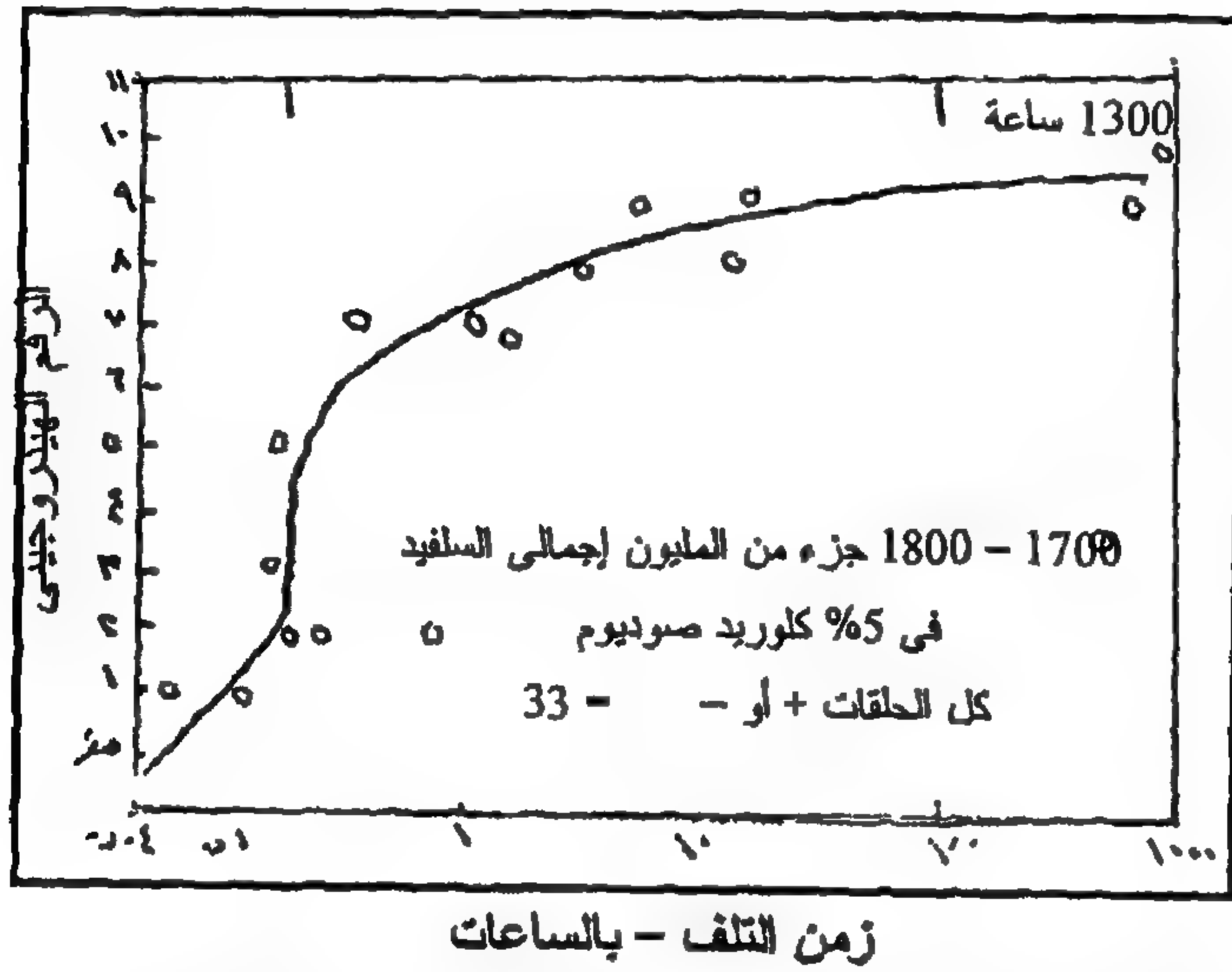
- مستوى الإجهاد (إما المسلط أو المتبقى): تقل الفترة الزمنية للتلف مع زيادة مستوى الإجهاد (Stress). في معظم الحالات يكون الإجهاد نتيجة حمل الشد أو من استخدام الضغط أو كليهما. ولكن الإجهادات المتبقية وكذلك النقاط الصلبة (Hard Spots) يمكن إيجادها باللحام أو بالتشغيل على البارد للمادة (الثنى على البارد ، علامات اللوى ومفتاح الربط.. الخ) .
- تركيز كبريتيد الهيدروجين: تزداد الفترة الزمنية لحدوث الإنهيار والتلف مع انخفاض تركيز كبريتيد الهيدروجين. تأخير التلف يمكن حدوثه عند تركيزات منخفضة جداً لكبريتيد الهيدروجين في الماء (0.1 جزء في المليون) وعند ضغط جزئى منخفض حوالى 0.001 جوى ، رغم أن زمن التلف يمكن أن يصبح طويلاً جداً.
- الرقم الهيدروجينى للمحلول: يزداد الاستعداد للتشقق مع انخفاض الرقم الهيدروجينى. الاستعداد للتلف يمكن خفضه كثيراً في حالة المحافظة على الرقم الهيدروجينى للمحلول عند 9 أى أعلا من 7 أو 8 شكل (1/19).
- درجة الحرارة : توجد بيانات توضح أو التعرض للتشقق يقل عند درجة حرارة أعلا من 66م.

### (3) عدوانية درجة الحرارة المرتفعة : (High Temperature Attack) :

عند درجة حرارة أعلا من 232م، فإن الصلب منخفض القوة يمكن أن تحدث له قصافة عند التعرض لغاز الهيدروجين عند درجات الحرارة هذه يتفاعل الهيدروجين مع الكربيدات (Carbides) فى الصلب ليكون غاز الميثان. الميثان يشغل حجم أكبر من كبريد الحديد ولذلك فإنه يسبب تشققات أو فراغات. عندئذ فإن الصلب تصبح قدرته قليلة جداً بالنسبة للتغير فى الشكل بدون تشقق أى أنه يصبح ذو قصافة (Brittle). معدل التسرب يزداد بزيادة الضغط الجزئى للهيدروجين ودرجة الحرارة. منحنيات نيلسون التى تعرف حدود الاستخدام لمختلف أنواع الصلب فى مجال الهيدروجين، توضح أقصى درجة حرارة والضغط الجزئى لكبريتيد الهيدروجين الذى يتحملة نوع معين من الصلب بدون حدوث عدوانية الهيدروجين. الصلب المحتوى على عناصر سبائكية التى تعمل على تثبيت

الكربيدات وتمنع تكون الميثان يكون لها مقاومة لارتفاع درجة الحرارة والضغط الجزئي للهيدروجين أكثر من أنواع الصلب

الغير محتوية على عناصر سبائكية (Alloying - elements) . تزداد المقاومة من الصلب الكربوني الغير محتوى على عناصر سبائكية إلى صلب الكروم و صلب الكروم الموليدنيوم حتى إلى صلب الأوستينيت المقاوم والذي هو لا يتأثر بعدوانية الهيدروجين عند ارتفاع درجة الحرارة ولكن ليس لعدوانية الكلوريد.



شكل (1/19) التلف للصلب نقل سرعته عند رقم هيدروجين  
أعلا من 7 أو 8

#### (4) وهن أو كلال التآكل: (Corrosion Fatigue) :

كلال المعادن هو سبب تلفيات كثيرة مكلفة في مجال صناعة إنتاج البترول. معظم هذه التلفيات يحدث في مجال عدوانى مثل المياه المالحة، ولذلك فإنها توصف بالتلف الناتج عن كلال التآكل. لقد عرف كلال التآكل بأنه السبب الرئيسى في تلف أعمدة المص (Sucker Rods) وأسلاك الحفر لسنين طويلة، وقريباً تم الانتباه نحو التلف الناتج عن كلال التآكل في المنشآت البحرية .

## \* كلال أو وهن المعادن فى الهواء :

عند تكرار الإجهاد للمعادن بطريقة دورانية (حلقية) فى الهواء، فإنها سوف تتلف فى شكل قصافة (Brittle) عند إجهادات أقل كثيراً من إجهاد الخضوع أو إجهاد الشد (Tield or tensile Strength) ولكن يوجد بالنسبة لبعض المعادن (تحديداً الصلب)، حدود للإجهاد التى دونها يمكن الإجهاد الدورانى للمعدن بلا نهاية بدون حدوث تلف. هذا الإجهاد يسمى حد التحمل (Endurance Limit) وهو دائماً أقل من إجهادات الخضوع أو الشد.

حد التحمل للمعادن الحديدية هو عادة 40 إلى 80% من إجهاد الشد لها، طبقاً للبناء المجهرى والمعالجة الحرارية. الصلب سريع التبريد والتطبيع (أى الإحماء بعد التبريد السريع - Temper) عادة له خواص كلال أفضل عن الصلب الكربونى بطئ التبريد. حيث أن إجهاد الشد للمعادن الحديدية هو تقريباً يتناسب مع الصلابة (Hardness) خلال مجال كبير، فإن حد التحمل هو كذلك يتناسب مع الصلابة خلال هذا المجال.

كلال التشقق عادة يبدأ عند سطح المعدن، وسلوك الكلال يتأثر بظروف السطح. الثقوب أو عدم تجانس المعدن مثل المسامية أو الشوائب، هذه تعمل على رفع الإجهاد، والأجهاد الحقيقى عند قاع الثقب يمكن أن يكون أضعاف الإجهاد المسلط. عمليات المعالجة الحرارية يمكن تزيل الكربون (Decarburize) من سطح جزء المعدن، ويتوقف إجهاد الكلال على قوة هذه الطبقة السطحية ذات المحتوى المنخفض من الكربون.

يتأثر حدوث الكلال كذلك بتاريخ الإجهاد الذى تعرض له هذا الجزء. قبل الإجهاد الحلقى عند إجهاد مرتفع يقلل من عمر الكلال الجزء الذى يتم إعادة إجهاده المنخفض الحلقى، عندما يكون كلا الإجهادين أعلا من حد التحمل قد ينتج عند ذلك تلف كلال قليل أو عدم حدوث تلف نتيجة الإجهاد المسبق الحلقى عند إجهادات منخفضة.

فى الواقع حدوث الكلال يزداد أحياناً بطريقة تعرف بطريقة اتحاد المحاور (Coaxil)، حيث العينة المعرضة لعدة إجهادات حلقية مع الزيادة المتتالية فى مستويات الإجهاد، بدأ من بعض الإجهاد أقل من حد التحمل.



كلال (إجهاد) التآكل - تأثير المجال العدواني على عمر الكلال :

**Corrosion fatigue – The Effect of Corrosive Environment on Fatigue Life:**

ينتقص عمر الكلال للمعدن كثيراً عند الإجهاد الحلقى للمعدن في مجال عدواني. الحدوث المتزامن للإجهاد الحلقى والتآكل يسمى كلال التآكل (Corrosion. Fatigue) لذلك فإن وجود مجال عدواني يزيد من آلية الكلال ويسرع في التلف نتيجة التآكل. كذلك تساعد القسافة الهيدروجينية على تلف الكلال (Fatigue Failure) في الصلب عالي القوة الخاصة المميزة لكلال التآكل (وهن التآكل) الذي يجب معرفته هو أن المعدن لا يوفر حد التحمل كما يحدث في الهواء شكل (1/19). حدوث كلال التآكل عادة بخاصية حد الكلال "Fatigue Limit" والذي هو كمية اختيارية معروفة. حدود كلال التآكل يعرف عادة بأقصى قيمة للإجهاد التي عندها لا يحدث تلف بعد  $10^7$  دورات (Sycels).

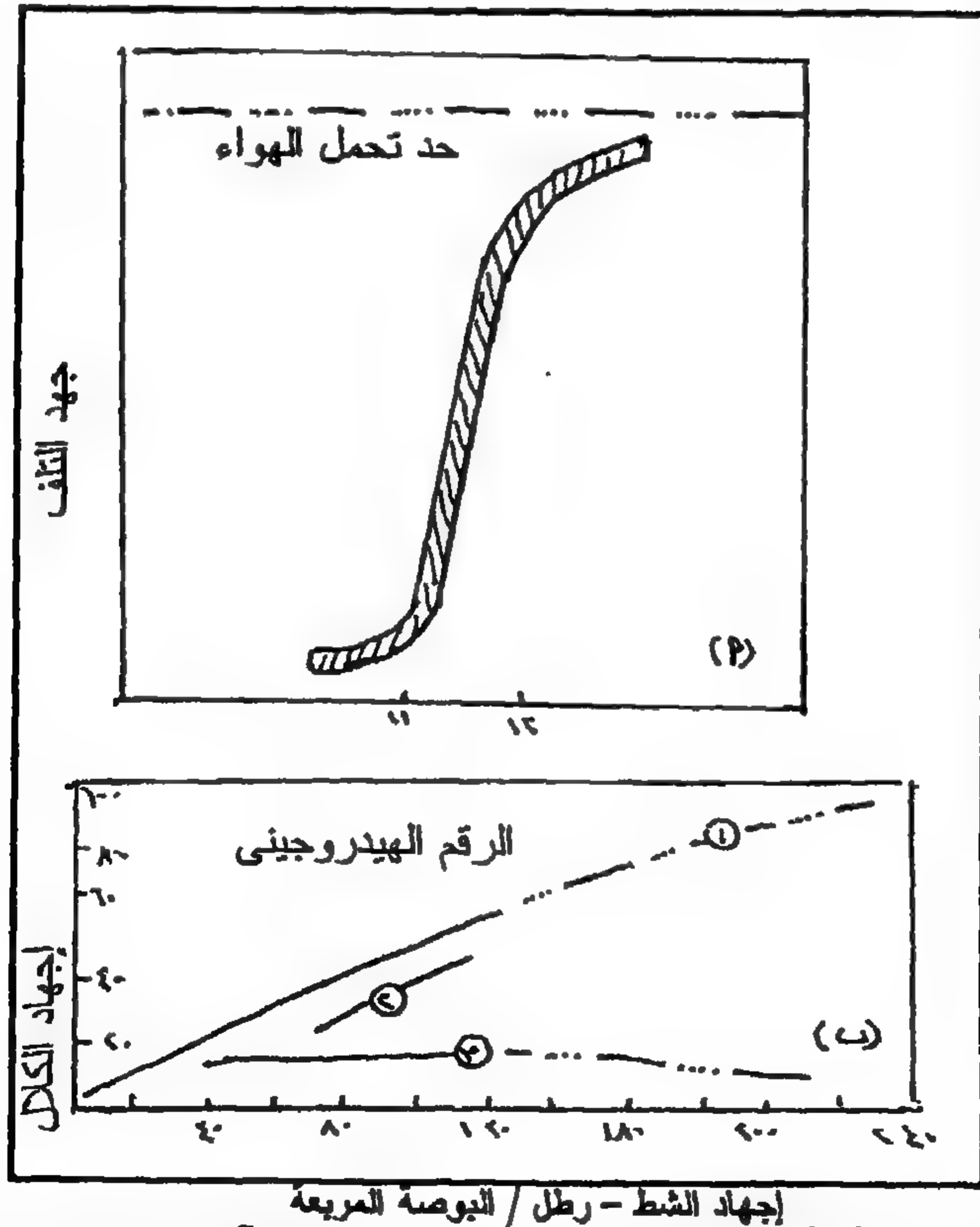
في كلال التآكل ، عدوانية المجال الملاصق شديد الأهمية. وجود غازات مذابة مثل كبريتيد الهيدروجين، ثاني أكسيد الكربون، أو الأكسجين يسبب زيادة واضحة في العدوانية وينتج عنه خفض عمر تآكل الكلال جدول (1/2). التآكل النقبي أو التآكل الموضعي هو الأكثر خطورة من وجهة نظر تآكل الكلال ، ولكن قليل من التآكل العام سيعمل على خفض عمر الكلال بدرجة كبيرة.

جدول (1/2) كلال التآكل للصلب في الماء المالح

الغاز المذاب	نسبة الخفض % من حد تحمل الهواء
كبريتيد الهيدروجين	20
ثاني أكسيد الكربون	41
ثاني أكسيد الكربون + هواء	41
كبريتيد الهيدروجين + هواء	48
كبريتيد الهيدروجين + ثاني أكسيد الكربون	62
هواء	65

القصفة الهيدروجينية يمكن أن تقلل عمر الكلال في الصلب متوسط القوة في حالة توقف التسرب الخارجى للهيدروجين أو إذا ظلت العينة مشبعة بالهيدروجين يحدث خفض كبير في عمر الكلال للصلب على القوة نتيجة التقصف الهيدروجينى. المتغيرات الأخرى التى تؤثر على معدلات التآكل هي هامة كذلك. عمر الكلال للصلب الكربونى فى المياه المالحة أو فى طفلة الحفر حيث الرقم الهيدروجينى أكبر من 11 بدأ أنه يزداد بطريقة ملحوظة الشكل (1/20).

أداء كلال التآكل لسبائك الصلب الكربونى والمنخفض السبائكى ليس له علاقة بالقوة وقد وضح ذلك لكل من الماء العذب الموضح فى شكل (20-ب) والماء المالح المحتوى على كبريتيد الهيدروجين، ثانى أكسيد الكربون، الهواء، أو بعض من المجموع لذا، فإن المعالجة الحرارية والسبائك (Alloying) هم أكثر أهمية بالنسبة لمقاومة التآكل عن الخواص الطبيعية.



شكل (1/20) - (أ) تأثير الرقم الهيدروجينى على سلوك كلال التآكل للصلب الكربونى  
(ب) العلاقة ما بين إجهاد الكلال وإجهاد لشد الصلب الكربونى منخفض السبائكى وصلب الكروم فى الهواء وفى الماء العذب (1) فى الهواء كل أنواع الصلب (2) فى الماء العذب الصلب الكروم (3) فى الماء وثانى أكسيد الكربون والصلب منخفض السبائكى .

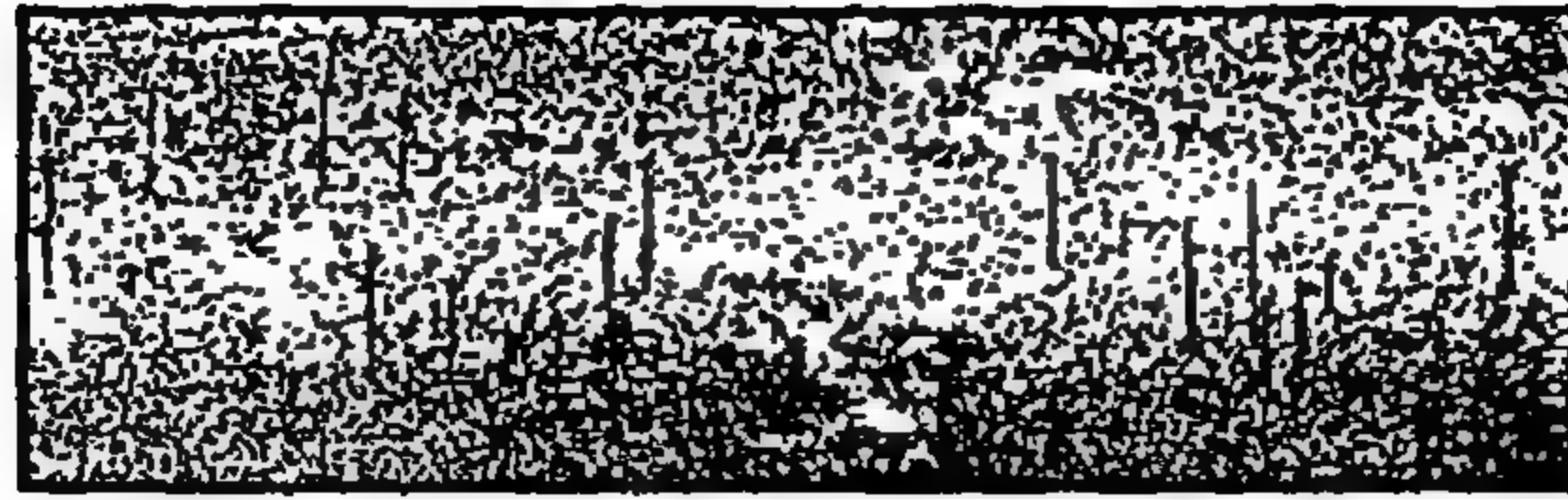
يجب التحقق أن تكرار الإجهاد المستخدم وبذلك الوقت المتاح لكلال التآكل لهم أهمية كبيرة في سلوك كلال التآكل للمواد. الاختبارات التي تتم عند ترددات حلقية عالية يمكن أن تظهر حيود قليل عن أداء كلال الهواء خلال جزء كبير من المنحنى. بالمقارنة تكرار نفس الاختبارات عند تردد حلقى منخفض جداً سيبين رقم أصغر كثيراً من الدورات لحدوث التلف لأي إجهاد. لذلك، فإن تردد الدورة (الحلقية Cycle frequency) يجب اعتبارها كمتغير رئيسي في أداء كلال التآكل.. مثال للتلف بكلال التآكل الشكل (1/21).

### التشقق بالإجهاد والتآكل : (Stress Corrosion Cracking) :

التشقق بالإجهاد والتآكل هو تداخل أو مشاركة ما بين القوى الكيماوية والقوى الميكانيكية والذي ينتج عنه التلف والذي بخلاف ذلك لا يحدث. وهو بسبب الأداء المشترك للعدوانية وجهد الاستطالة المستخدم، أي أن التأثير المشترك للثنتين أكبر من مجموع التأثيرات لعامل واحد. في عدم وجود إجهاد فإنه السبيكة المعينة سوف لا تتآكل (في مثل هذه الطريقة الموضعية)، وفي عدم وجود العدوانية تكون السبيكة قادرة على تحمل الإجهاد بسهولة. نتيجة التأثير المجمع هو التلف بالقصافة (Brittle failure) للمعدن المرنة العادية.

الإجهاد الذي يؤدي إلى التشقق بالإجهاد والتآكل هو دائماً إجهاد الشد (Tensile Stress). وهذا الجهد يمكن أن يكون مستخدم أو متبقى. أحياناً يكون الإجهاد المتبقى أكثر خطورة نظراً لعدم اعتباره في تقدير الإجهادات الكلية. عند حدوث التشقق بالإجهاد والتآكل لمعدن فإن الفقد في المعدن يكون عادة قليل جداً، رغم ملاحظة التآكل التقبي أحياناً. في كثير من الحالات التآكل التقبي يسبق التشقق مع حدوث التشقق بالإجهاد والتآكل من قاع الثقوب. التشقق يمكن أن يكون أما بين الحبيبات أو عبر الحبيبات ولكن يكون دائماً في اتجاه عمودي على أعلا إجهادات. أحياناً نمو التشقق يعمل على تحرير الإجهادات وتغيير اتجاه أعلا إجهادات. الشقوق تصبح غير مستقيمة ولكنها ستستمر بزاوية قائمة على أعلا إجهادات.





شكل (1/21) مثال للتآكل بالإجهاد لعامود السحب

كل المعادن معرضة للتشقق بفعل الكلال والتآكل فقط المعادن النقية هي التي يبدو أنها غير معرضة. ولكن في كل الأحوال فإن التآكل بالإجهاد يكون نتيجة التعرض لسبيكة معينة لمجال عدواني معين ، لا يوجد مجال عدواني واحد بسبب تآكل الإجهاد لكل السبائك، ومعظم السبائك معرضة للتآكل في مجالات عدوانية معينة قليلة. عموماً الفترة الزمنية لحدوث التلف ودرجة التشقق يتغيرا طبقاً لتركيز المجال العدواني، درجة الحرارة وكثافة الإجهاد. الاستعداد للتشقق يزداد دائماً مع زيادة مستوى الإجهاد، والزمن لحدوث التشقق يقل. أحد الطرق لمنع حدوث التلف هو بخفض الإجهادات. والأهم تحديداً هو مساحات تركيز الإجهاد، واختلاف التعرض (Differential Exposure) ، التزاوج بقوة (Forced Mismatches) ، النقطة الأخرى حيث الإجهادات الموضعية تكون مرتفعة جداً في بعض الحالات يكون النزع أو اللي أو التسطيح بمؤخر المطرقة الحاد (Peening) ، الصقل أو التلميع (Burnishing) ، أو درفلة الأسطح لتوفير إجهادات ضغط ذلك سوف يقلل من الاستعداد للتشقق. زيادة تركيز المحلول عادة يزيد الاستعداد للتشقق ويقلل من الفترة الزمنية لحدوث التشقق. وهذا هام جداً في المحاليل الضعيفة عادة والتي تصبح مركزة عند نقاط موضعية مثل خط منسوب السائل، النقط الساخنة، والنهايات الميتة. فمثلاً حيث يتشقق الصلب المقاوم من النوع 304 في محاليل محتوية فقط على قليل من الجزء في المليون من الكلوريد، فإن تركيز المحلول في النقطة عند حدوث التشقق وجد أنه مرتفع شكل (1/22).

عند درجات الحرارة المرتفعة، يكون الاستعداد للتشقق كثيراً والفترة الزمنية للتلف قليلة. درجة الحرارة في أماكن موضعية تكون أحياناً أعلا عن تلك في باقي المنظومة، وتلك الأماكن هي التي يحدث بها التلف. عن ارتفاع درجة الحرارة أعلا من نقطة الغليان، فإن التلف يمكن تجنبه ذلك لأنه يجب وجود اليكتروليت قبل حدوث التشقق بالتآكل، الإجهاد، وكذلك بسبب عدم وجود اليكتروليت فإن التشقق بالتآكل والإجهاد ولا يحدث في الغازات الجافة. الجدول (1/3) كشف بالسبائك والمجالات العدوانية المسببة لحدوث التشقق بالتآكل والإجهاد.

FERROUS ALLOYS				AUSTENITIC STAINLESS STEELS				COPPER BASE ALLOYS			
CAST IRON			Mild Steel	302, 304, 321, 347	316, 317	AISI 316-304	Marine Stainless 405-410	Copper 85-99.9	Brass 70-90Cu + Zn, Sn or Pb	Brass 59-93Cu + Al, Zn or Fe	Cupro-Nickel 66-88 11-23
Gray	Nickel	Silicon									
①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	⑩	⑪	⑫

NICKEL BASE ALLOYS						MISCELLANEOUS METALS AND ALLOYS							
Nickel 99	Ni-Cu 64-32	Ni-Cr-Fe 76-16-7	Ni-Fe-Cr 32-47-20	Ni-Mo 62-28 + Fe, V	Ni-Cr-Mo 54-43-16 + Fe, W	Aluminum	Gold	Lead	Platinum	Silver	Tantalum	Titanium	Zinc
⑬	⑭	⑮	⑯	⑰	⑱	⑲	⑳	㉑	㉒	㉓	㉔	㉕	㉖

Use the above schedule to identify materials by number.

Corrosive	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26
Acetic acid + mercury salts																										
Alkyl aryl sulfonates																										
Aluminum chloride																										
Aluminum sulfate																										
Ammonia																										
Ammonium biphosphate																										
Ammonium chloride																										
Ammonium fluoride																										
Ammonium hydroxide																										
Ammonium nitrate																										
Aniline																										
Barium chloride																										
Barium nitrate																										
Bismuth																										
Calcium bromide																										
Calcium chloride																										
Calcium nitrate																										
Carbon tetrachloride																										
Chlorine																										
Chloroform																										
Chlorobenzene																										
Chloroform																										
Chloroacetic acid																										
Copper tetraoxide		</																								

## الصلب الكربوني والصلب منخفض السبائكية

**:(Carbon and Low Alloy Steels)**

أكبر المجالات العدوانية المسببة للتشقق بالإجهاد والتآكل للصلب المطاوع (الكربوني) هو محاليل إيدروكسيد الصوديوم والنترات. التشقق في إيدروكسيد الصوديوم، والذي يعرف بالقصافة الكاوية (Caustic Embrittlement)، كان من المشاكل الخطيرة وخاصة في خلايا البخار بمسامير البرشام (Riveted). ولكن حالياً تم معرفة الكثير عن ظاهرة أن المثبط الكيماوى والتحرر من الإجهاد بالشكل المناسب استخدم لتجنب القصافة الكاوية.

التشقق بفعل النترات يحدث في المحاليل الساخنة والمركزة وعادة يكون بين الحبيبات (Intergranular). نترات الأمونيا ونيترات الكالسيوم والصوديوم هي غالباً المسببة لهذا التلف. مثل إجراءات منع حدوث التشقق بالإجهاد والتآكل فإن إجراءات المنع تتم لتجنب الظروف المسببة للتركيز الموضعي، التحكم في درجة الحرارة، خفض الإجهادات. كذلك الجمع بطريقة معينة بين  $CO/CO_2$  الذى يوجد في تدفقات الغاز الخامل يمكن كذلك أن يسبب التشقق للصلب الكربوني والصلب منخفض السبائكية.

**الصلب عالى القوة : (High Strength Steels)**

تشقق الصلب عالى القوة أكثر حدوثاً عن الصلب المطاوع. فهو يحدث في المحاليل المالحة، الأجواء الرطبة، ومع الصلب عالى القوة الفائقة حتى في مياه الصنبور. بينما كثير من مثل هذه التلفيات يكون بسبب التآكل بالإجهاد (Stress Corrosion) إلا أنه توجد شواهد قوية أن معظم التشقق في الصلب عالى القوة يكون بسبب القصافة الهيدروجينية. التشقق يزداد بزيادة قوة الصلب، والذي يرجع إلى الحساسية الشديدة للصلب عالى القوة الفائقة. الخبرة أو الاختبارات الحقيقية تكون ضرورية لتعيين العدوانية والظروف التي قد تسبب التشقق لهذه الأنواع من الصلب.

**الصلب المقاوم المقىس : (Hardenable Stainless Steels)**

الصلب المقاوم المقىس يشمل الصلب المقاوم المارتزيت الكروم، الصلب المرسب المقىس المقاوم مثل (PH 17-4). عند المعالجة لمستويات قساوة عالية هذه الأنواع من



الصلب عرف أنها تتشقق بالإجهاد والتآكل. لخفض تأثير التشقق بالإجهاد والتآكل يتم التضحية ببعض القوة بالمعالجة الحرارية للسبيكة. الصلب المقاوم المقيس له أقصى مقاومة بعد المعالجة بالتلطيف (Tempering) عند 593م، بينما الصلب المقيس المقاوم المرسب يكون أقصى مقاومة بعد التعتيق أو التلطيف عند 621م.



شكل (1/22) تآكل الكلوريد بالإجهاد للصلب المقاوم 304

#### الصلب المقاوم الأوستينيت (Austenite Stainless Steels) :

نظراً لاستخدام الصلب المقاوم الأوستينيت على نطاق واسع في البيئات العدوانية، ولذلك فقد كتب عنه كثيراً بخصوص التشقق بالإجهاد والتآكل أكثر من أى سبيكة أخرى. الصلب المقاوم الأوستينيت له حساسية للتشقق ما بين الحبيبات وعبر الحبيبات. يحدث التشقق بين الحبيبات عادة في السبائك التي أصبحت ذات حساسية (Sensitized)

ولكن التشقق عبر الحبيبات يحدث عند عملية زيادة الحساسية (sensitization). العامل الأكثر تأثيراً لتشقق الصلب المقاوم الأوستينيت هو أيون الكلوريد، وبالتالي فإن الكلوريدات من المحتمل أهم سببيات استخدام الصلب الأوستينيت المقاوم. السبائك أكثر حساسية لمحاليل الكلوريد المركزة الساخنة، ولكن ثبت حدوث التلف في المحاليل المحتوية أقل من 5 جزء في المليون كلوريد. بلا شك في مثل هذه الحالات، تكون الظروف التي تمكن من تركيز الكلوريد. في بعض المصانع المنتجة للكيمياويات المحتوية على تركيز عالي من الكلوريدات، يكون الجو الخارجي ملوث بدرجة أن استخدام الصلب المقاوم يكون محدوداً. مصدر آخر غير مشكوك فيه للتلوث بالكلوريد هو من العزل الخارجي، حيث يحدث تلف كثير للمواسير والأوعية عند وصول الكلوريدات من الأمطار أو مصدر رطوبة من العزل الخارجي.

مصدر آخر للتشقق عبر الحبيبات للصلب المقاوم الأوستينيت هو المحاليل الكاوية الساخنة. هذه الأنواع من الصلب تقاوم العدوانية بالمواد الكاوية عند التركيزات المنخفضة ودرجات الحرارة المنخفضة، ولكن هذه السبيكة يحدث لها التشقق في المحاليل الكاوية بتركيز أكبر من 50% أو المحاليل المخففة عند درجة حرارة أعلا من 149م.

عند تعرض الصلب المقاوم الحساس للعدوانية ثم الإجهاد فإنه يتشقق ما بين الحبيبات. كما تم توضيحه فإن هذا ليس تشقق بالتآكل والإجهاد ولكنه مجرد تشقق ناتج عن الإجهاد الزائد التآكل البيني للحبيبات.

في السنين الأخيرة زاد الاهتمام بشكل التشقق بالإجهاد والتآكل. سبائك الصلب المقاوم المستخدمة في تداول تدفقات تكرير المواد البترولية المحتوية على كبريتيد الهيدروجين وجد أنه يحدث لها تشقق بالإجهاد والتآكل بين الحبيبات. في عدم وجود إجهاد لا يحدث للسبيكة تآكل أو تشقق ملحوظ. معظم التلف يعتقد حدوثه في وقت لاحق عند اتحاد الكبريتيدات (Sulfided)، الرطوبة، الأكسجين لتكوين المحاليل المسماة "Polythionic Acids" توجد شواهد على أن حامض الكبريتوز هو المسئول الحقيقي عن هذا التلف. ولكن بصرف النظر عن عامل التآكل فحينما التصق الصلب المقاوم الحساس مع السلفيدات، الرطوبة، والأكسجين فإنه توجد خطورة عدوانية حامض البولي ثيونيك

(Polythionic Acid Attack). لخفض إمكانية هذه العدوانية استخدم الصلب منخفض الكربون من النوع المستقر (Stabilized). عند حدوث الحساسية فقط باللحام أى من هذه السبائك يكون كافياً. ولكن تلك السبائك أيضاً تصبح حساسة لعدوانية حامض البولي ثيونيك عند التعرض لدرجة حرارة إثارة الحساسية (Senstizing) لمدة 1000 ساعة أو أكثر.

### السبائك ذات الأساس من النحاس (Copper Base Alloys) :

النحاس النقي مثل المعادن الأخرى يبدو أنه خامل (Immune) وله مناعة ضد التشقق بالإجهاد والتآكل. السبائك حتى مع كميات صغيرة من الفوسفور، الزنك، الأنتيمون، الألومنيوم، السيليكون أو النيكل تجعله حساس للتشقق الحاد بالإجهاد والتآكل بالأمونيا أو المحاليل المحتوية على مركبات الأمونيا . فى بعض الحالات، يكون التشقق بين الحبيبات وعبر الحبيبات.

وجود الأكسجين بالإضافة إلى الأمونيا ضرورى لإحداث التشقق لسبائك النحاس، ولكن حتى الكميات الصغيرة جداً من الأمونيا يمكن أن تكون مدمرة. عملياً، يستحيل غالباً الأبعاد الكلى للأكسجين من المنظومة ، وخاصة أثناء التوقف. حدث كثيراً من التلف عند توقف المعدات الحساسة ثم الفتح للتفتيش عادة لا يتم اكتشاف الخطر لحين بدء المعدة فى التسرب أثناء العمل. لهذا السبب فإنه لا يلاحظ دائماً أو التلف حدث أثناء فترة التوقف والتفتيش عند دخول الأكسجين.

حساسية بعض سبائك النحاس للتشقق بفعل الأمونيا يرجع إلى الفضل حيثما كانت الأمونيا معروفة أولاً. فمثلاً، غاز الأمونيا يمتص سريعاً بواسطة البخار أنابيب النحاس الأصفر (Brass) للمبادل الحرارى المشونة فى جو الأمونيا عرف أنها تتشقق بفعل الأمونيا الممتصة بواسطة الرطوبة المتراكمة على الأنابيب . الإجهادات المتبقية أو الإجهادات من التداول والتجميع كانت كافية فى وجود الأمونيا لإحداث التشقق بفعل الإجهاد والتآكل . كذلك مركبات النيتروجين مثل حامض النيتريك، كانت السبب فى



تلفيات مشابهة . النيتروجين الذي يتحول إلى الأمونيا أحياناً خلال التفاعلات الكيماوية والأمونيا بسبب التشقق.

في كثير من الحالات، يمكن تجنب التشقق بخفض الإجهادات، وبالتحديد الإجهادات المتبقية. في الحالات الشديدة القسوة يجب استخدام سبائك أكثر مقاومة. عموماً، زيادة المحتوى من النحاس يزيد من المقاومة فمثلاً النحاس الأحمر (Red Brass) المحتوى على 84% نحاس، 15% زنك أكثر مقاومة من معدن مونتز (Muntz Metal) المحتوى على 62% نحاس، 38% زنك، أو سبيكة الأدميرالتي (Admiralty) المحتوية على 71% نحاس، 28% زنك، 1% قصدير. للحالات شديدة القسوة يجب استخدام سبائك الكوبرو نيكل (Cupro Nickel Alloys). لسوء الحظ، قسوة الخدمة لا تلاحظ دائماً حتى حدوث التلف، الخبرة والاختبار ضروري لتحديد أفضل سبيكة لتعرض معين.

#### سبائك الألومنيوم :

التشقق بالإجهاد والتآكل للألومنيوم هو عموماً يختص فقط بالسبائك عالية القوة مثل سلسلة (20 XX) من الألومنيوم والنحاس، سلسلة (70XX) من الألومنيوم والزنك والمغنيسيوم والنحاس. عند المعالجة الحرارية للقوة، فإن السبائك التي تحتوي أحياناً مجالات مرسبة في الحدود بين الحبيبات والتي تجعلها ذات حساسية للتشقق بالإجهاد والتآكل بين الحبيبات في المجالات العدوانية المعتدلة وخاصة الأجواء الملحية. معظم التلف وجد عندما يكون المطلوب نسبة عالية بين القوة والوزن كما في حالة الطائرات. التشقق دائماً يكون بين الحبيبات (Intergranular). في العمليات الصناعية يستخدم الألومنيوم كثيراً في مقاومة التآكل أكثر منه لنسبة القوة إلى الوزن حيث يمكن استخدام السبائك ذات عدم الحساسية. يكون من الضروري عمل طبقة حماية للتغطية أو أي أسلوب آخر للحماية.

#### سبائك النيكل (Nickel Alloys) :

النيكل وسبائك النيكل لهم حساسية للتشقق بالإجهاد والتآكل في عدد قليل من العدوانيات المعينه. ويمكن لهذه المواد أن تستخدم على نطاق واسع في خدمة المجالات

الكاوية. النيكل وسبيكة (Inconel) السبيكة 600 يحدث لها تشقق بالإجهاد والتآكل في المجال الكاوي المركز عند درجة حرارة أعلا من 316م. يوصى بالنيكل المنخفض الكربون في مثل هذه الخدمة.

#### سبائك التيتانيوم :

زاد استخدام سبائك التيتانيوم بسبب المقاومة العالية للتآكل في مجالات بيئية عديدة. ولكن وجد أن التيتانيوم حساس للتشقق بالإجهاد والتآكل في عدة مجالات: كلوريد الصوديوم الجاف عند درجة حرارة أعلا من 316م، حامض الهيدروكلوريك بتركيز 10%، حامض النيتريك الأحمر المدخن، الميثانول، (Uranyl Sulphate) يورانيل سلفيت، ماء البحر، ولكن عادة سبائك التيتانيوم وجدت أنها مقاومة للتشقق في بيئات معينة.

#### قصافة المعدن المنصهر (إجهاد السباكة) :

##### **Liquied Metal Embrittlement (Stress Alloying):**

شكل آخر من التلف بفعل القصافة (Brittle Failure) والذي ينتج عن التآكل هو قصافة مصهور المعدن (إجهاد السباكة Stress Alloying). المعدن المتآكل يتفاعل مع معدن آخر أو نواتج التآكل والتي تحت الإجهاد تخترق ما بين حبيبات المعدن. المجال البيئي للحبيبات يكون إما أضعف كثيراً أو أكثر قصافة عن سبيكة الأساس، ولذلك لا يتحمل الحمل، أو قد ينصهر عند درجة حرارة العمل. هذا الشكل الأخير من العدوانية يعرف أحياناً بعدوانية المجال المنصهر (Molten Phase Attack). عدوانية درجة الحرارة المحيطة محدود بتلك بسبب الزئبق على النحاس الأصفر (Brass) وسبائك النحاس الأخرى وعلى سبائك الألومنيوم عالية القوة. سبائك النحاس هي الأكثر حساسية للالتين وحينما يلتصق النحاس الأصفر تحت الإجهاد أو سبائك النحاس الأخرى مع الزئبق أو أملاح الزئبق يمكن حدوث تشقق خطير بالنسبة للألومنيوم، الذي يتأثر بشدة السبائك ذات القوة الأعلا وشدة العدوانية تتوقف على المعالجة الحرارية للسبيكة. رغم أن الزئبق لا يستخدم عادة في العمليات، فإن الأجهزة مثل أجهزة قياس الحرارة والضغط المحتوية على الزئبق هي المستخدمة عادة. عند كسر مثل هذه الأجهزة فإنها يمكن أن تنشر الزئبق

خلال النظام. بسبب ضغط البخار العالى نسبياً للزئبق وحقيقة أن كمية صغيرة فقط يمكن أن تسبب التشقق، فإن تلف أحد هذه الأجهزة يمكن أن يحدث تلف إجهاد السباكة بطريقة متلاحقة وخطيرة.

عند درجات الحرارة المرتفعة، نواتج تآكل معينة يمكن أن تتفاعل مع معدن الأساس مكونة مركب ثالث بين المعدن (Intermetallic Compound) والذي ينصهر عند درجة حرارة أقل من معدن الأساس. هذا عاى فى سبائك النيكل والسبائك ذات الأساس من معدن النيكل الملتصقة بالكبريت عند درجة حرارة أعلا من 593°م. الكبريت يكون سلفيد النيكل (Nickel Sulphide) والذي ينصهر عند درجة حرارة أقل من 600°م وينتج عنه تلف بين الحبيبات.



## الفصل الثانی

أشكال التآكل فى آبار  
البترول والغاز وأسبابه





### تآكل الأكسجين :

آبار البترول: في المناقشة السابقة تم توضيح ضرورة وجود الهواء أو الأكسجين لحدوث تآكل الأكسجين. لهذا السبب، فإن تآكل الأكسجين لا يتوقع حدوثه في معدات آبار البترول تحت السطح. الماء المنتج مع زيت البترول نادراً ما يحتوى على الأكسجين المذاب. رغم أن معظم الهيدروكربونات لا تتفاعل مع الأكسجين عند درجة حرارة خزان البترول، إلا أن خام زيت البترول يحتوى على عدد من المركبات العضوية الأخرى التي تتفاعل مع الأكسجين بسرعة. يحتمل أن أى أكسجين موجود أصلاً في الخزان قد تم استهلاكه بواسطة هذه المركبات العضوية.

ولكن أحياناً، يوجد تآكل الأكسجين في المعدات السفلى في البئر. عند حدوث هذه الحالة يكون السبب عادة بالإهمال في ظروف التشغيل أو عيب المعدة. السبب العادى لدخول الأكسجين في آبار الضخ هو الحلقة المفتوحة (Open Annulus).

في بعض الحقول يتم عادة أخذ الغاز من القيسون. بفعل التفريغ. هذا العمل سوف يسمح للأكسجين بدخول التربة الحاملة عند سحب المعدات من الآبار (When wells Are Pulled). هواء الرفع للإنتاج يعمل على دخول الهواء للبئر. الهواء يمكن أن يدخل البئر مع عملية رفع الغاز في حالة امتصاص ضاغط الغاز ينزل أقل من الضغط الجوى. وجود ثانى أكسيد الكربون / أو كبريتيد الهيدروجين يزيد من معدل تآكل الأكسجين. كذلك فإن الأكسجين المسحوب إلى معدة البئر يمكنه زيادة معدل التآكل أكثر من الموجود عادة.

### ماسورة الحفر : (Drill Pipe) :

الأكسجين والاجهادات المتحددة (الكلال) تعتبر السبب الرئيسى للتلف فى ماسورة الحفر. الثقوب بسبب تآكل الأكسجين ونتوءات الخدمة مثل علامات الانزلاق والخدوش الميكانيكية، تركيز وتزيد الاجهادات الموضعية فى ماسورة الحفر، وبذا تسبب بدء التشققات تحت أحمال التردد أو العكسية. أثناء عملية الحفر. وجود الأكسجين فى الطفلة يزيد من خطورة أداء الكلل (Fatigue Action)، وهذه العملية تسمى تآكل الكلل (Corrosion Fatigue). مع زيادة عمق ثقب التآكل، فإن تآكل الكلل يستمر بمعدل



سريع. كل من هذه الأعمال ينشط الآخر، وتتكرر الحلقة المفرغة. يحدث التلف عند تقديم الشق أو الثقب على طول جدار الماسورة حيث يتم رفع السائل للخارج. قطع السائل يضخم بسرعة حتى الثقب صغير لحين تكون ثقب كبير. بذلك الماسورة تضعف ويمكن بسهولة أن تعوج وتفتل.

التآكل الخارجى لماسورة الحفر عادة لا يكون موضعى ولا يكون ثقب، بسبب الحك المستمر على أجناب الحفر. كذلك، المحتوى من الأكسجين عادة يتحقق بسبب التفاعل مع مكونات الطفلة مع الوقت وبدء رحلة عودة الطفلة. ثقب التآكل الداخلى هو الأكثر. فى احتمالات حدوثها ولهذا السبب فإن التلف بالكلال يبدأ عادة على السطح الداخلى للماسورة.

#### معدات السطح : (Surface Equipment) :

تآكل الأكسجين هو عموماً مشكلة خارجية فى معدة الإنتاج الأولى. فى المناطق ذات الرطوبة المرتفعة نسبياً يمكن أن يحدث تآكل ثقبى حاد وتآكل كلى. وجود تراكمات للمواد الصلبة مثل الأملاح تعمل على امتصاص الماء من الهواء وبذا تزيد من معدل التآكل وذلك بالعمل على استمرار رطوبة السطح.

الجانب السفلى لحوض التخزين (Stock – Tank Decks) عادة يحدث له تآكل أكسجين حاد. تنفيس الحوض يمكن من التصاق الهواء بالرطوبة المكثفة على سطح الصلب. وجود كبريتيد الهيدروجين وثنائى أكسيد الكربون يزيد من معدل العدوانية.

كذلك فإن المواسير على السطح يحدث لها نفس التآكل العام مثل المعدة الأخرى. تآكل المواسير المعرضة لرش المياه مثل المواسير فى أبراج التبريد يمكن أن يكون حاد جداً.

#### معدة الحقن للإفاضة بالماء (Water Flood Injection Equipment) :

تستخدم معدة الحقن للإفاضة بالماء لحقن بئر الزيت التى قاربت النضوب. الأكسجين فى مياه الإفاضة المالحة فى حقل البترول هو السبب الرئيسى لتآكل هذه المعدة. توفر الأكسجين بشكل محدود قد يسبب تكون كتل واضحة تسمى نتوءات أو درنسات. نواتج التآكل تكون فى شكل هلامى ورخوة وقد يحدث تآكل ثقبى عميق أسفل ترسيبات نواتج

التآكل وسرعة حدوث الثقوب في المعدن، إعاقَة التدفق، وتكون مواد الإعاقَة للتدفق من نواتج التآكل يمكن توقعه. حجم نواتج التآكل مقارنة بكمية الأكسجين يمكن أن يكون كبيراً بطريقة مذهشة كما يمكن أن يسبب زيادة في التلف أكثر مما يظهره الأكسجين. كميات صغيرة من نواتج التآكل يمكن أن يسبب انسداد للمعدة وكذلك انسداد التركيب الجيولوجي (Formation) عند آبار الحقن.

كذلك فإن الأكسجين يمكن أن يسبب انسداد لبئر الحقن وذلك في حالة مياه الحقن (أو مياه الشحن الجوفى) مركبات الحديد والمنجنيز المذابة والتي تتفاعل مع الأكسجين مكونة مواد غير مذابة.

#### العمليات البحرية (البعيدة عن الشاطئ) : (Off shore Operations) :

التآكل للمنشآت البحرية يمكن أن ينقسم إلى أربع مناطق للعدوانية. هذه المناطق تتطابق إلى حد ما، كما أنه يتوقع وجود اختلاف في معدل التآكل لنفس المنطقة. وهذه المناطق الأربع هي شكل (2/23)

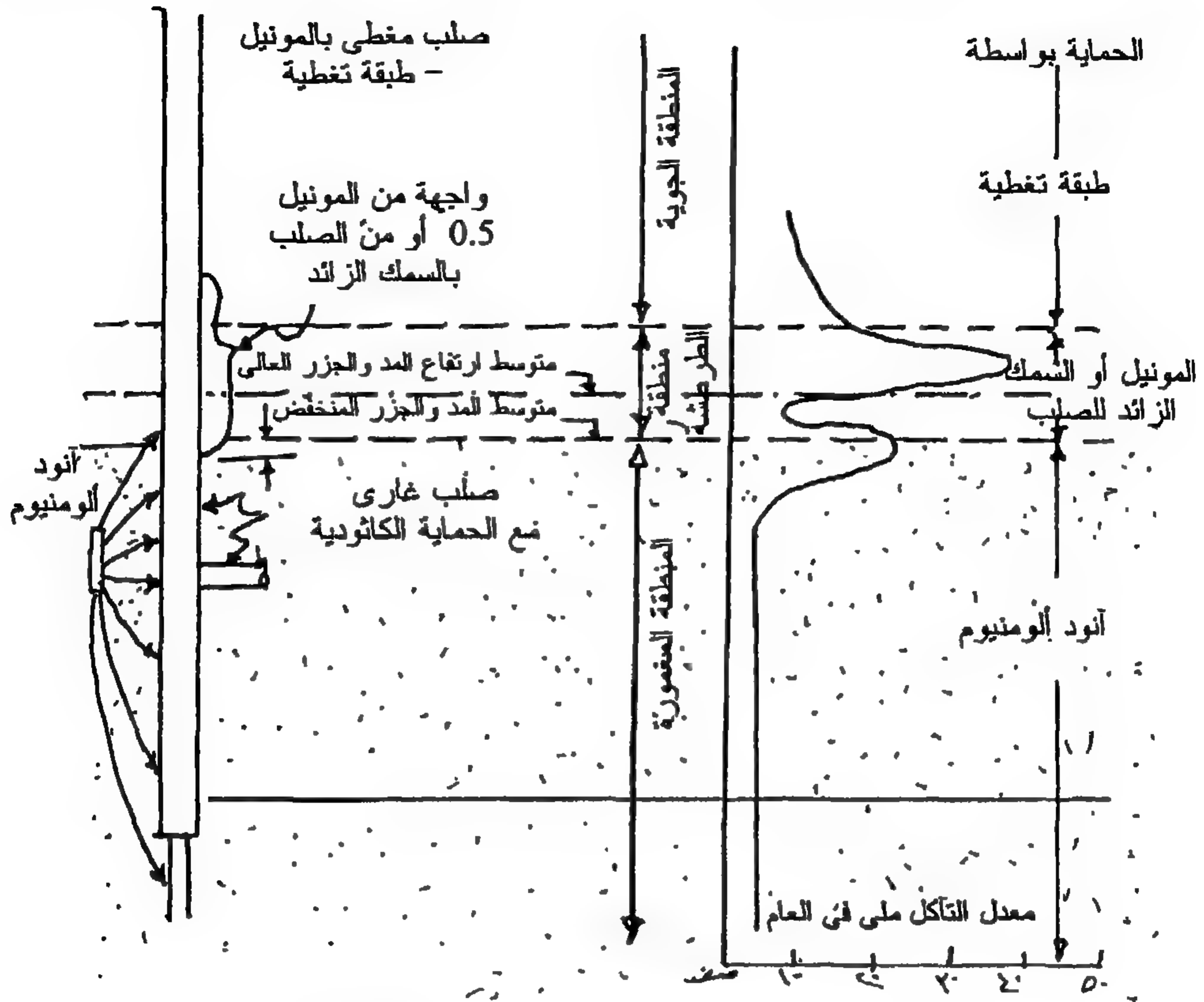
✓ منطقة الطين أو الحمأة: (Mud zone) وهي الجزء من المنشأ الواقع أسفل قاع البحر.

✓ المنطقة الغاطسة أو أسفل الماء: حيث يكون المعدن مغطى دائماً بالماء.

✓ منطقة الطرطشة (Splash zone): فوق خط الماء، حيث أداء الموج يعمل على استمرار بلل المعدن (و أحياناً يتعرض للصقل بفعل الثلوج).

✓ المنطقة الجوية (Atmospheric Zone): حيث تبدو المنطقة جافة معظم الوقت.

في المنطقة المغمورة تحت سطح الماء، يكون التآكل عام . التآكل الثقبي العام والضحل هو العادى. عند انكسار الأمواج على المنشأة، يحدث برى عند خط الرمال (Sand Line) بسبب احتكاك الموج الدافع للرمال . وهذه هي مشكلة أساسية للبرى، ولكن التآكل هو العامل المساعد الرئيسى. التلف للمنشآت البحرية يكون حاد جداً فى منطقة الطرطشة (Splash).



شكل (2/23) مناطق التآكل، معدن التآكل النسبى، وإجراءات الحماية لمنشآت الصلب فى مياه البحر.

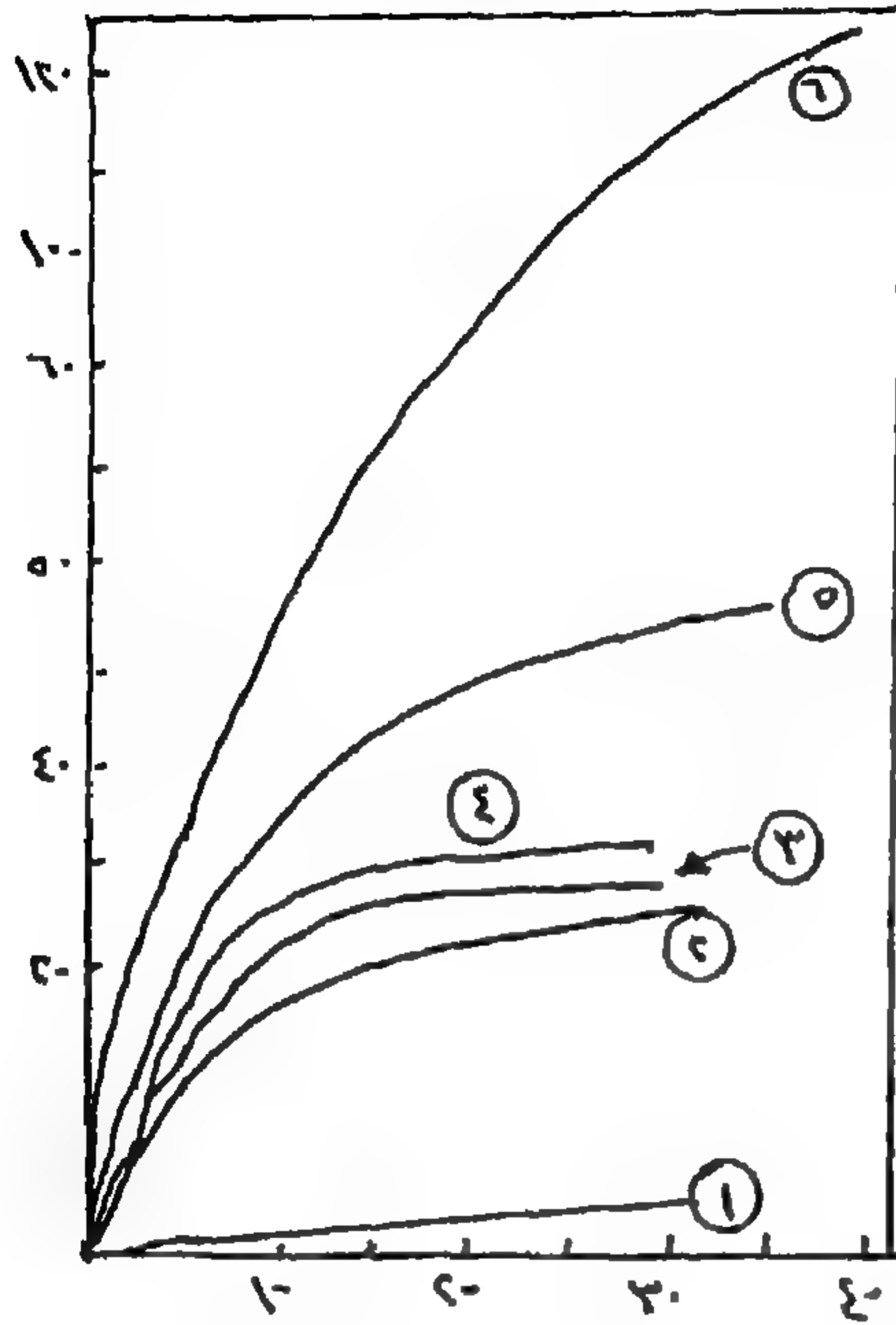
هنا الغسيل الذى يحدث بالماء الملحي المحتوى على أكسجين الهواء الجوى يزيل نواتج التآكل وذلك قبل تكون طبقة الحماية، بما ينتج عنه تآكل ثقبى عميق. الحد الرأسى للطرشة يتوقف على مجال المد والجزر وارتفاع الأمواج.

تصميم المنشأة وطريقة توصيل المكونات يمكن أن تقلل من التلف بفعل التآكل فى هذه المنطقة. نظراً لأن هذه المنطقة هي الأكثر صعوبة بالنسبة لحمايتها، فإنه يكون المفضل تحديد وتقليل العوارض (Cross Members) إلى أقل ما يمكن.

منطقة الرش تبدو عادة جافة، ولكن دائماً على سطحها طبقة رقيقة من الملح. مع برودة المنشأة ليلاً، وزيادة الرطوبة، تمتص الأملاح الماء من الهواء مكونة طبقة من الرطوبة وتقلل من



معدل التآكل. نواتج التآكل تميل إلى الانفصال في شكل قشور وهذا التخلص الغير منتظم من الصدا يزيد من التآكل الثقبي. عموماً يكون التآكل الثقبي أكثر عمقاً على السطح السفلي للمنشأ المحمي بالظل عن الأسطح العلوية التي تجف بحرارة الشمس.



شكل (2/24) تآكل جوى للصلب  
في بيئة كلوريد الصوديوم،  
والرطوبة النسبية (1) 58، (2)  
70، (3) 80، (4) 89، (5)  
94، (6) 97.

#### التآكل الحلو (Sweet Corrosion) :

كما تم مناقشة التآكل الحلو هو في حالة عدم وجود كبريت، حيث يكون التآكل بسبب وجود ثاني أكسيد الكربون المذاب.

#### آبار الغاز المكثف : (Gas Condensate Wells) :

تآكل مواسير آبار الغاز المكثف عادة يكون في شكل ثقوب عميقة. تآكل المواسير يحدث في ثقوب حادة ومحددة حيث تخترق الجدار كلية في زمن قصير نسبياً. هذه الثقوب تكون بسبب الغازات الحامضية المذابة في نقاط الماء المكثف على جدار الماسورة، والمواسير أسفل نقطة التكثف قد تكون خالية نسبياً من التلف بفعل التآكل.

#### آبار الزيت الحلو : (Sweet Dil Wells) :

التلف بفعل التآكل في أعمدة السحب (Sucker Rods) في آبار الزيت الحلو قد تكون في شكل تآكل ثقبي حاد، أو في شكل تآكل الكلال. في كثير من المناطق تكون المصادر

الرئيسية للمشاكل هي تلف مسامير الرباط وجلبة الرباط (Pin Coupling) بسبب كلال التآكل أو بسبب كلاً من التآكل والبلى أو البرى.

يحتمل أن يكون أخطر مشاكل التآكل للزيت الحلو هي فى آبار رفع الغاز. هذه الآبار عادة عميقة، ذات ضغط القاع مرتفع وبالتالي الضغط الجزئى المقابل لثانى أكسيد الكربون يكون مرتفعاً. وهذه كذلك منتج كبير للمياه. المشكلة تزداد سرعتها عادة بحقن غاز لرفع الغاز إذا كان يحتوى على كميات صغيرة من الأكسجين ، مثال موضح فى الشكل (2/25). مشكلة رفع الغاز لا شك أنها حادة حيث يصعب عمل معالجة كيماوية تحت التركيب الحلقى وأسفل محابس رفع الغاز إلا فى حالة استخدام تقنيات إزاحة للمواسير أو الحشر.

### التآكل الحامضى: (Sour Corrosion) :

يعرف التآكل بسبب كبريتيد الهيدروجين المذاب فى الماء بالتآكل الحامضى مواسير بئر زيت البترول: فى مواسير بئر الزيت يمكن أن يسبب كبريتيد الهيدروجين وجود ثقوب والتي عادة تكون ناعمة وتبدو كمنخفضات.

### تآكل الفراغ الحلقى : (Annular Space Corrosion) :

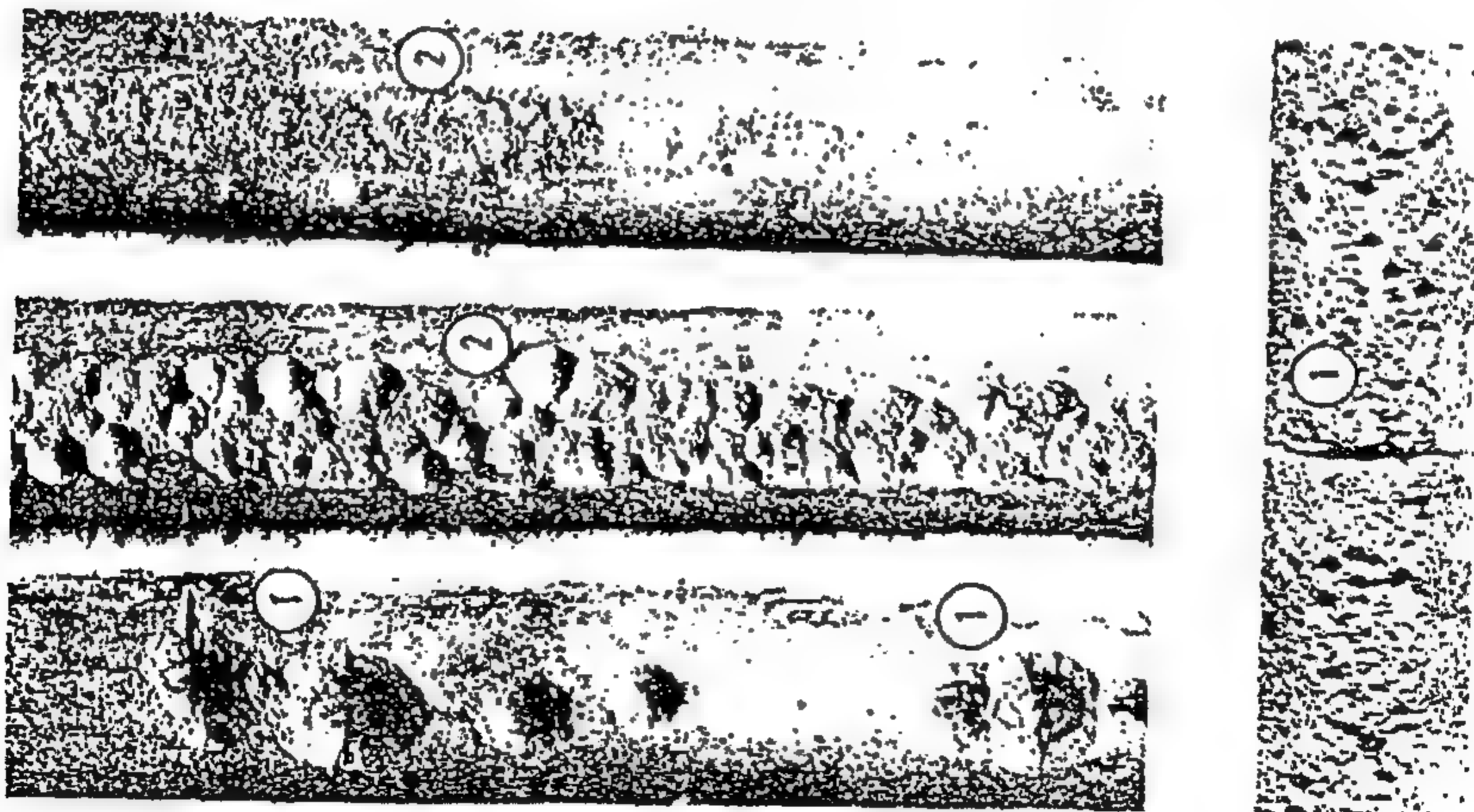
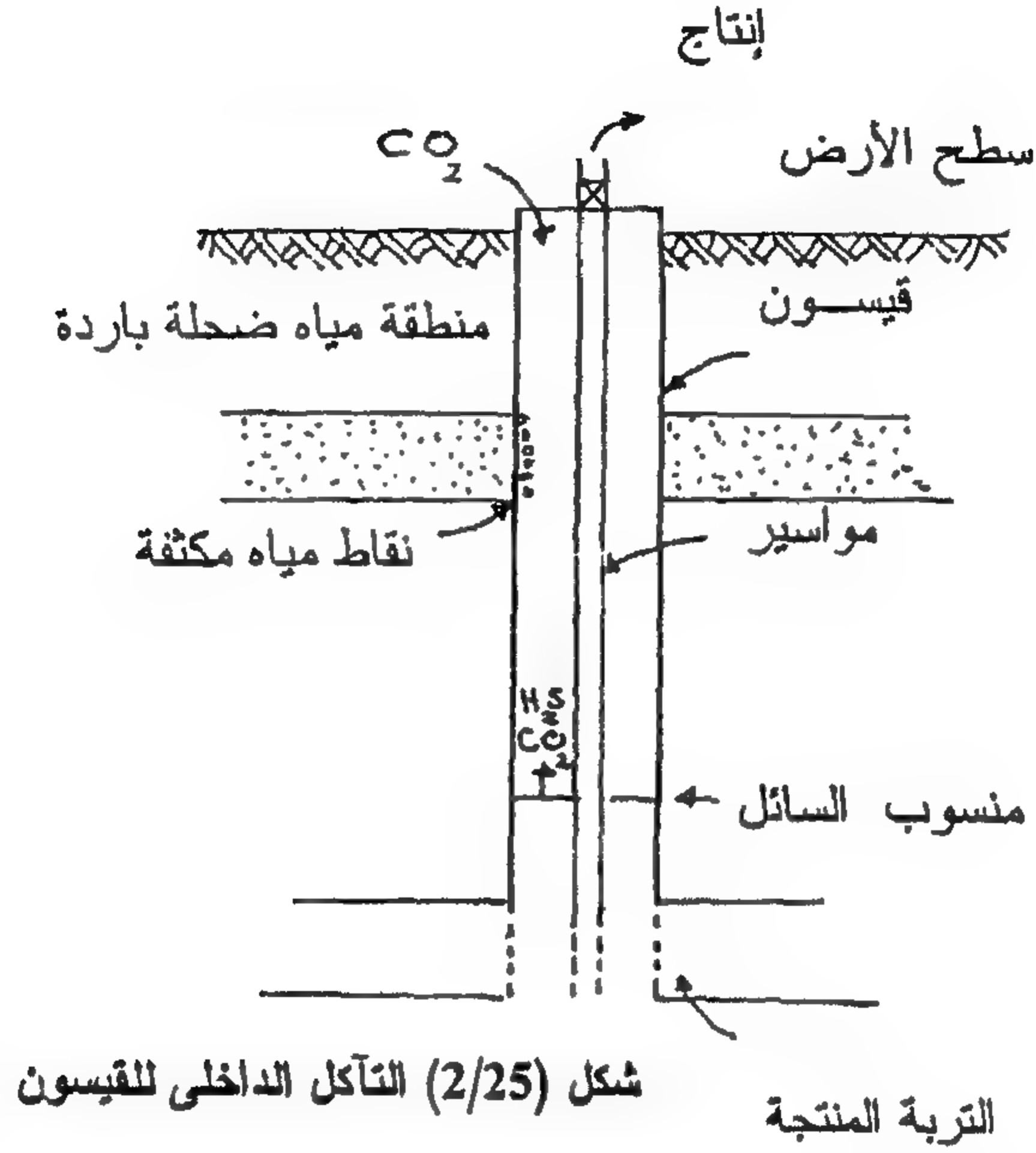
على السطح الداخلى للمواسير أو الداخلى للقيسونات فوق المستوى الحلقى للتآكل حيث لا تعمل أى تأثيرات للبرى ، يكون للثقوب أطراف حادة ومتكيفة وذات مسام (Cavernous). فى داخل قيسون بئر الزيت تكون آلية تآكل كبريتيد الهيدروجين كالاتى:

فى عدم وجود رازمة، أو عازلة الإنتاج فى بئر الزيت (Packer) يكون التركيب الحلقى لمواسير القيسون معرض لغازات الخزان. الغاز مشبع بالغاز عند ظروف الخزان. مع حمل الغاز أو تسربه إلى أعلا، فإن الماء يتكثف على سطح القيسون فى المساحات التى تبرد إلى أقل من نقطة الندى شكل (2/25). عندئذ يذوب كبريتيد الهيدروجين فى نقاط الماء وينشط التآكل. نظراً لأنه لا يوجد تدفق فى التركيب الحلقى (Annulus)، فإن ترسيبات كبريتيد الحديد لا يتم إزالتها. هذه الترسيبات تنشط التآكل الثقوبى كما سبق توضيحه.

### أعمدة السحب : (Sucker Rods) :

التآكل بفعل الكبريتيد على أعمدة السحب من الصلب الكربونى عادة يظهر فى شكل تآكل ثقبى شكل (2/26). قد تتكون شقوق كلال صغيرة عند قاع هذه الثقوب. قد تتكون

شقوق مشابهة عند مساحات تلف السطح، مثل علامات النزاع أو اللي، حتى في حالة ضالة عدوانية التآكل بسبب التشقق الكبريتي.



شكل (2/26) تآكل ثقبى لأعمدة السحب في المجال الحامض (1) التشقق تكون عند الأطراف للثقوب الحادة (2) قليل من التشققات عند الثقوب المتسعة



اختبار نهاية الكسر العامودى السحب الذى تلف أثناء العمل يكشف عن سطح ناعم ممتد على مستوى نصف الكسر تقريباً. باقى المقطع ينكسر بالشد باستخدام طرف مسنن (Jagged Edge) حيث يحدث الفصل النهائى. يمكن معرفة شواهد التشقق على الجانب المقابل لهذا الطرف المسنن. الشرخ الصغير الأولى امتد عبر القضيب فى مراحل متدرجة حيث نشط التشقق بالتآكل.

#### آبار الغاز : (Gas Wells) :

فى آبار الغاز الحامضية المعنية يمكن رؤية قليل جداً من التآكل الثقيب إذا وجد على سطح المعدة، عندئذ يحدث تلف سريع للمعدة. التلف من هذا النوع يرجع إلى التشقق الكبريتى فى القصافة الهيدروجينية. الشكل (1/17) يوضح مثال لهذا النوع من التلف. وجد كذلك تآكل ثقيب حاد فى آبار الغاز الحامضية العميقة ذات الضغط العالى المنتجة للماء المالح، لكن قليل من الغاز المكثف.

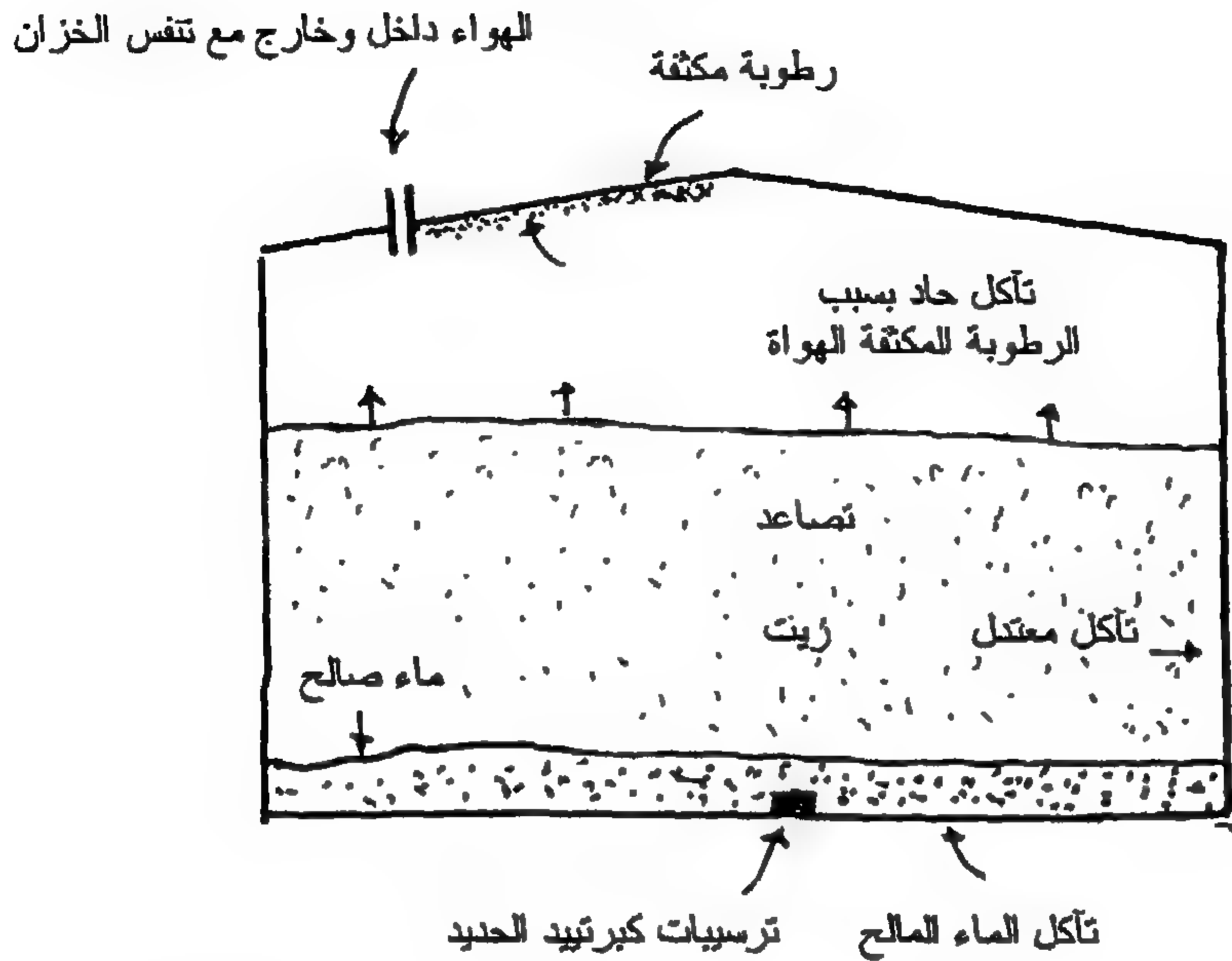
#### معدة السطح : (Surface Equipment) :

معدة السطح التى تتداول المنتج الحامض سوف مع قليل من الاستثناءات تواجه نفس النوع من العدوانية مثل المعدة تحت السطح . فى خزانات حفظ الزيت والمعدات الأخرى لتناول هذا النوع من الإنتاج ، حيث يوجد الأكسجين، فإن تآكل السلفيد يمكن أن يكون حاداً وسريعاً. نموذج الأماكن العدوانية فى خزان الزيت موضح فى الشكل (2/27) .

فى خزانات حفظ زيت البترول، تآكل الجانب السفلى للقاع يبدأ مع تكثف نقاط الماء والتى تتشبع بسرعة بكبريتيد الهيدروجين . دخول الأكسجين يساعد فى تعجيل التآكل . هذا التآكل ينتج عنه تآكل ثقيب حاد والذى يمكنه عمل ثقوب فى قاع الخزان.

نوع آخر من التآكل يحدث على قاع خزانات الحفظ نتيجة طبقة الماء التى توجد عادة عند قاع كل الخزانات. تفاعل ثانوى يحدث عند قاع الخزان والذى يكون بسبب قشور التآكل الثقيلة التى تسقط من الجانب السفلى لسقف الخزان، وهذه تسبب عدوانية خلية تركيز والتى ينتج عنها تآكل ثقيب حاد. وتآكل أجناب الخزان عادة يكون ضعيف، ولكن يحدث تآكل حاد عند القاع عند 18 بوصة أسفل خط التلاقى بين الزيت والماء. أحياناً

يكون التلف الحاد في معظم خزانات حفظ الزيت هو التبريد الهيدروجيني (Hydrogen Blistering) في معظم خزانات حفظ البترول.



شكل (2/27) مناطق التآكل والأسباب في خزانات الزيت الخام الحامضية.

معدات الحقن: معدات الحقن للغاز أو الماء يمكن التوقع أن يكون لها نفس التآكل مقارنة بمعدة الإنتاج. في حالة حقن الماء يكون المتوقع المعدل العالي للتآكل في حالة دخول الملوثات من الأكسجين خلال التداول السطحي.





## الفصل الثالث

مراقبة التآكل في معدات  
حقول البترول والغاز





## 1- مقدمة :

سوف يتم تناول طرق الكشف عن التآكل السطحي وأسفل فتحة البئر لمعدات آبار البترول. يجب معرفة أن قياسات التآكل بخلاف الكشف الظاهري للمعدات تستخدم كمؤشرات للعدوانية وليست بالضرورة لبيان معدلات التآكل. من الأهمية هي التغيرات في القيم التي تمكن التغيرات الطيبة أو الغير طيبة في معدلات التآكل. كل القياسات يجب تقييمها جيداً بمعرفة تاريخ النظام، درجة الثقة في طريقة الاختبار وتقنيات التحليل.

## 2- عينات التآكل (Corroding Specimens) :

الطريقة الشائعة لكشف ومراقبة التآكل الداخلي وإيقافه هي بتعرض عينات الاختبار - قطع من المادة توضع في المجال لتتآكل ثم يتم تحليلها. هذه الطريقة تشمل قضيب أو شريحة اختبار التآكل (Coupons) ، أو وصلة الاختبار (Test Nipple) ، بكرات (Spools) ، وتجهيزات خاصة باستخدام مجسات التآكل (Corrosion probes).

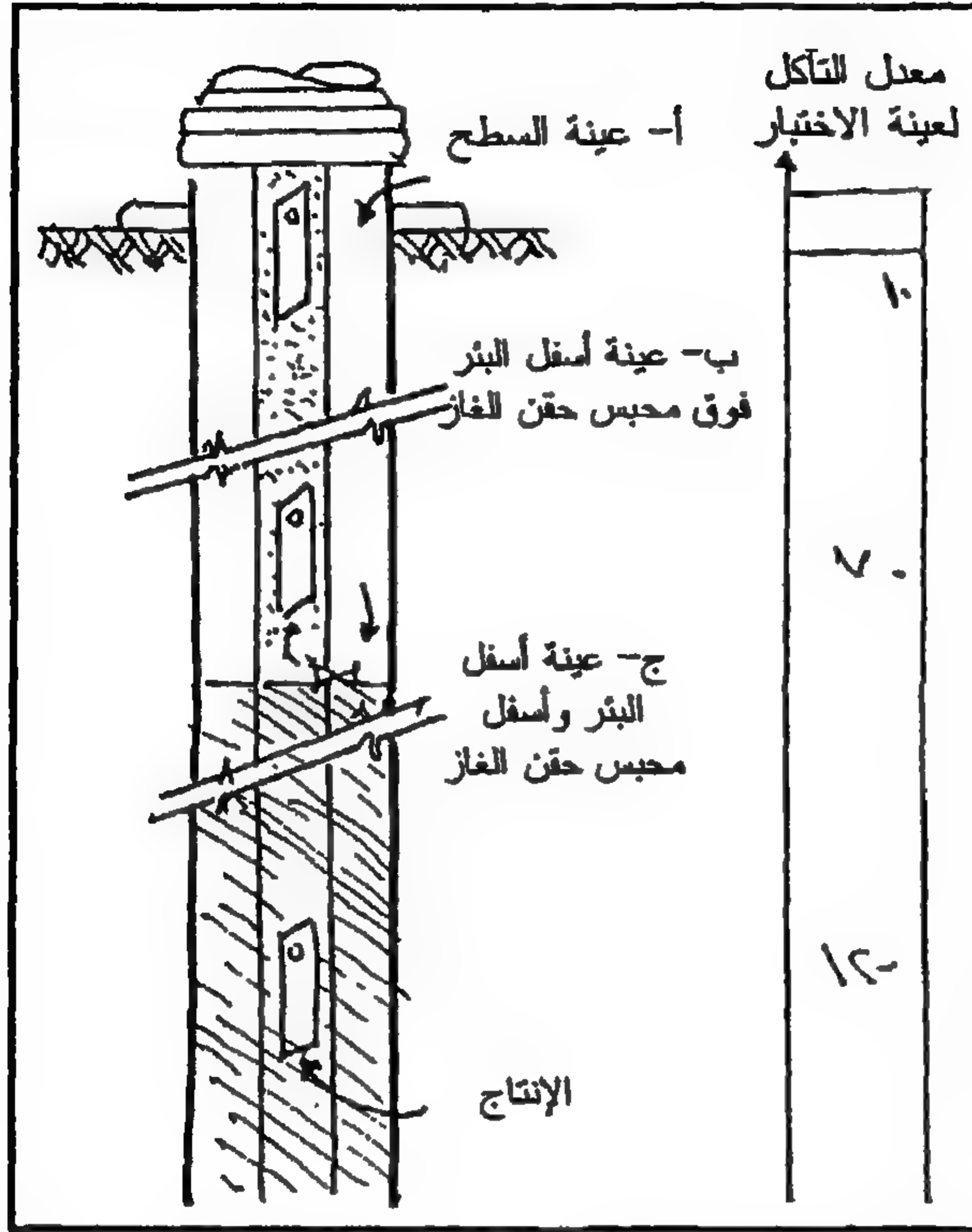
### قضيب أو شريحة اختبار التآكل : (Coupon) :

عادة في الإنتاج يتم وضع شريحة اختبار التآكل عند تقييم التآكل. كثيراً من خطوط المواسير والعمليات الصناعية يتم رصد مشاكلها الداخلية بهذه الشرائح. شريحة اختبار التآكل هي قطعة صغيرة من المعدن التي توضع في داخل المنظومة حيث تترك لتتآكل. يتم تنظيف شريحة الاختبار بحرص ثم وزنها قبل وبعد تعرضها لعدوانية المجال. يمكن تعيين معدل التآكل من الفقد الذي حدث في وزن العينة. توجد أنواع كثيرة من أشكال وأبعاد شرائح الاختبار كما توجد أنواع كثيرة من محطات هذه الشرائح (أي طريقة إمساكها Holders). هذه الماسكات أو المحطات تتكون أساساً من وسائل حمل العينة في مسار تدفق السائل بينما تكون العينة معزولة عن المعدن الآخر.

الوضع : مكان شريحة الاختبار في المنظومة له أهمية خاصة لأن المكان يؤثر بشدة على النتائج ذلك لأن التآكل لا يحدث بانتظام خلال المنظومة. الشكل (3/1) يوضح اختلاف البيانات من وضع شرائح الاختبار عند أعماق مختلفة في بئر رفع الغاز. عينة الاختبار عند رأس البئر تظهر انخفاض معدل التآكل بينما تلك الموضوعة قبل محبس



رفع الغاز تبين شدة التآكل. وبالمثل في المواسير الأفقية يكون معدل التآكل منخفض في الأماكن التي يسهل الوصول إليها بينما يكون شديداً في الأماكن المنخفضة التي يصعب الوصول إليها حيث ما يكون غالباً بسبب تجمع المياه.



شكل (3/1) بيانات التآكل لعينات الاختبار في بئر الإنتاج برفع الغاز - حيث يظهر

معدل التآكل على مختلف الأعمال بالمليمتر في العام.

البيئة : السوائل التي تتعرض لها شريحة الاختبار هي كذلك ذات أهمية. عادة توضع العينات في نظم آبار الغاز بالماء، وأماكن أخرى حيث لا يتم تغطية كل السطح بالماء، لذلك فإن هذه المشكلة تكون ضعيفة - ولكن استخدام شريحة الاختبار يمكن أن يساعد في أي مجال إذا كانت العوامل مثل سرعة سقوط نقط المياه، التدفقات متعددة المجال.. الخ التي قد تؤثر في النتائج يتم أخذها في الاعتبار.

التداول : تداول شريحة الاختبار وتثبيتها وسحبها يمكن أن يؤثر على معدل التآكل نقطة من بصمة يد بها عرق إرتشاجي معدل التآكل عند هذه النقطة. البصمة الدهنية يمكن

أن تحمي كلياً أو جزئياً مساحة من عينة الاختبار. يجب أن تكون العينة خالية من التآكل على وضعها في النظام كما يجب منع حدوث تآكل عند سحبها إلى المعمل. أحد الطرق لحماية عينات الاختبار هي باستخدام أطرف ورقية مثبتة.

وعند وضع الكوبون في مكان الاختبار يراعى الإمساك بها فقط من الأطراف.

زمن التعرض: زمن التعرض كذلك له أهمية. زمن التعرض القصير يعطي إجابة سريعة ولكن هذه يمكن أن تكون مخالفة للواقع. في حالة أن المشكلة تكون حدوث التآكل الثقوب فإن الثقوب قد تستغرق عدة أسابيع لتستقر. لذلك إذا أظهر التعرض القصير أن النظام مسيطر عليه ، فإن زمن التعرض يجب أن يزداد ومقارنة النتائج مع بيانات زمن التعرض القصير.

كذلك توجد متغيرات أخرى مثل إعداد السطح، النظافة ... الخ والتي يمكن أن تؤثر على نتائج دراسات عينة الاختبار. عند تحليل نتائج تعرض العينة، فإنه من المهم عمل القصة الكاملة. كما ذكر، يتم وزن العينة قبل وبعد التعرض، ثم يتم تحويل الفقد في الوزن إلى معدل التآكل وهو (الاختراق بالملي في العام penetration MPY Milsper yea) باستخدام المعادلة التالية.

$$MPY = \frac{\text{الفقد في الوزن بالجرامات} \times 22300}{Adt}$$

حيث A = المساحة بالبوصة المربع.

d = كثافة المعدن (جرام / سم<sup>3</sup>)

t = الزمن بالأيام

هذه القيم المقدرة من الفقد في الوزن بفرض أن التآكل كان منتظماً على كل سطح عينة الاختبار. وطبيعي أن هذا عادة مخالف للواقع. لذلك فإن التقرير الكامل يجب أن يشمل الكشف بالنظر على العينة لتعيين نوع التآكل. باستخدام برنامج حماية عينة يمكن خفض التآكل الكلي أي خفض (MPY) إلى مستوى مقبول ولكن ماذا عن التآكل النقبي؟ الثقوب الحادة يمكن أن تحدث التلف في الماسورة في وقت قصير.

### الوصلة المقلوطة الطرفين للاختبار : (Test Nipples)

كثير من العاملين يقوموا بتركيب وصله مقلوطة الطرفين خاصة في الخط لتعمل كعينة اختبار ضخمة. تستخدم عينة الاختبار هذه جنباً إلى جنب مع تقنيات أخرى للمراقبة والرصد ويمكن تعرضها لعدة شهور، نتيجة تعرضها توضح تأثير المدى الطويل للتآكل. وهي كذلك تمثل عينة لداخل الماسورة لكل 360 درجة للسطح الداخلي وتوفر عينات دقيقة للتأثيرات الديناميكية. يمكن وزن هذه العينات من الوصلات المقلوطة وتعيين المعدلات كما في حالة شريحة العينة (coupons). ولكن المساهمة الكبيرة هي المظهر الطبيعي. يمكن قطع الوصلة وقياس عمق الثقوب .. الخ.

### 3- الطرق الكهربائية والكروكيميائية :

#### (Electrical And Electro Chemical Methods)

#### أ- مجسات المقاومة الكهربائية : (Electrical Resistance Probes)

أجهزة المقاومة الكهربائية مثل قياس التآكل (Corrosometer) ، تعين الفقد بقياس الزيادة في مقاومة قطعة المعدن بسبب انخفاض سمك المقطع بفعل التآكل. وهذه تسمى العينة الكهربائية للاختبار (Electrical Coupon). الشكل (3/2) يوضح جهاز قياس التآكل ومكوناته الرئيسية. يتم وضع مجس من سبيكة تشبه سبيكة المعدن في النظام وذلك بحشر المجس في وصلة قريبة. نموذج لوضع المجس موضع في الشكل (3/3).

قراءة خط الأساس تتم بعد وضع المجس بفترة زمنية ممتدة ليكون المجس في حالة اتزان مع البيئة المحيطة (درجة الحرارة ، وتكيف السطح). بعد فترة زمنية مناسبة، يتم أخذ قراءة الجهاز (التغير في المقاومة) وتحويلها من قراءة مترية إلى اختراق بالملى في العام. باستخدام معدلات التحويل والمعادلة التي يوفرها المنتج. يتم توقيع البيانات على مخطط للحصول على معدلات التآكل. نموذج للمعلومات من جهاز قياس التآكل موضحة في الشكل (3/4). تقييم البيانات من جهاز قياس التآكل معرضة لنفس المحددات كما في حالة شريحة الاختبار. فمثلاً، الترسيبات على سطح المجس يمكن أن تحمي من المجال العدواني. في بعض الحالات، يكون ترسيب كبريتيد الحديد (Fes) على العنصر موصل كهربى بما يسبب زيادة ظاهرية في مقطع العنصر المعرض. وهذا ينتج



عنه انخفاض في قياس معدل التآكل، حيث تكون قراءة التآكل الظاهري صفر أو تكون بالسلب (بسبب الزيادة الظاهرية في المعدن وليس النقص بسبب التآكل).

ب- أجهزة الاستقطاب الخطي (الطولي) :

### (Linear Polarization Instruments)

هذه الأجهزة مثل (Corrator, Petrolite Corrosion Rate Meter) تقوم بقياس الفوري لمعدلات التآكل باستخدام ظاهرة كهروكيميائية تسمى الاستقطاب الخطي. تشمل هذه التقنية قياس التيار المطلوب لتغيير الجهد الكهربى لعينة تتآكل في سائل موصل بعدة مليفولتات قليلة. لقد ظهر أنه طالما أن التغير في الجهد لا يزيد عن 10 إلى 20 مليفولت، فإن معدل وطبيعة تفاعلات التآكل لا يحدث لها إعاقة، وأن كمية التيار المستخدم اللازمة لإحداث التغير في الجهد تتناسب مع تيار التآكل. يمكن الوصف لهذه العلاقة رياضياً كالآتى:

$$I_{\text{corr}} = K \frac{I_{\text{app}}}{\Delta E}$$

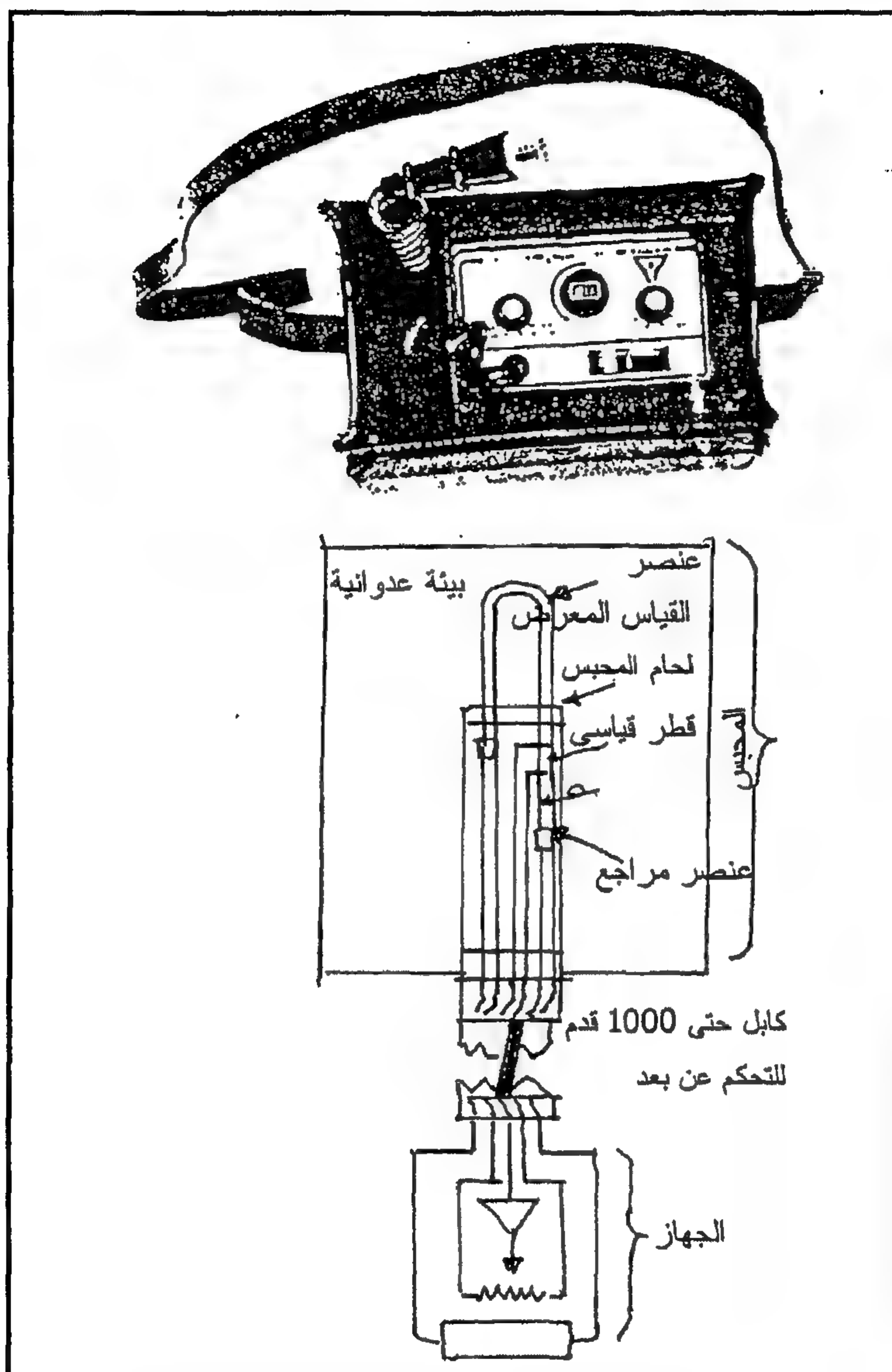
حيث :

$$I_{\text{corr}} = \text{تيار التآكل للعينة}$$

$$E = \text{التغير في الجهد الكهربى للعينة.}$$

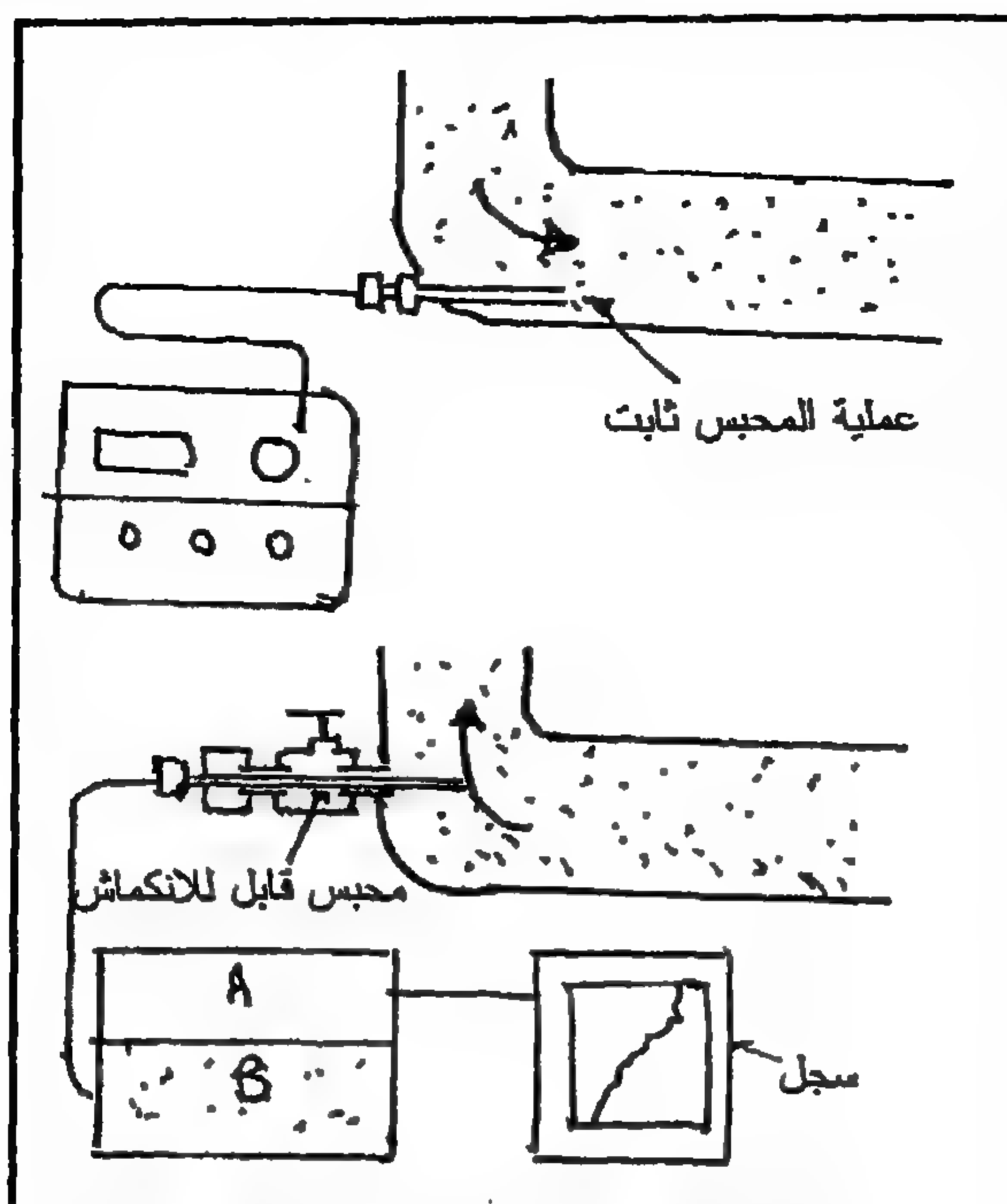
$$I_{\text{app}} = \text{التيار المطلوب استخدامه لتغيير الجهد الكهربى للعينة}$$

$$\Delta E, K = \text{مجموعة ثوابت.}$$

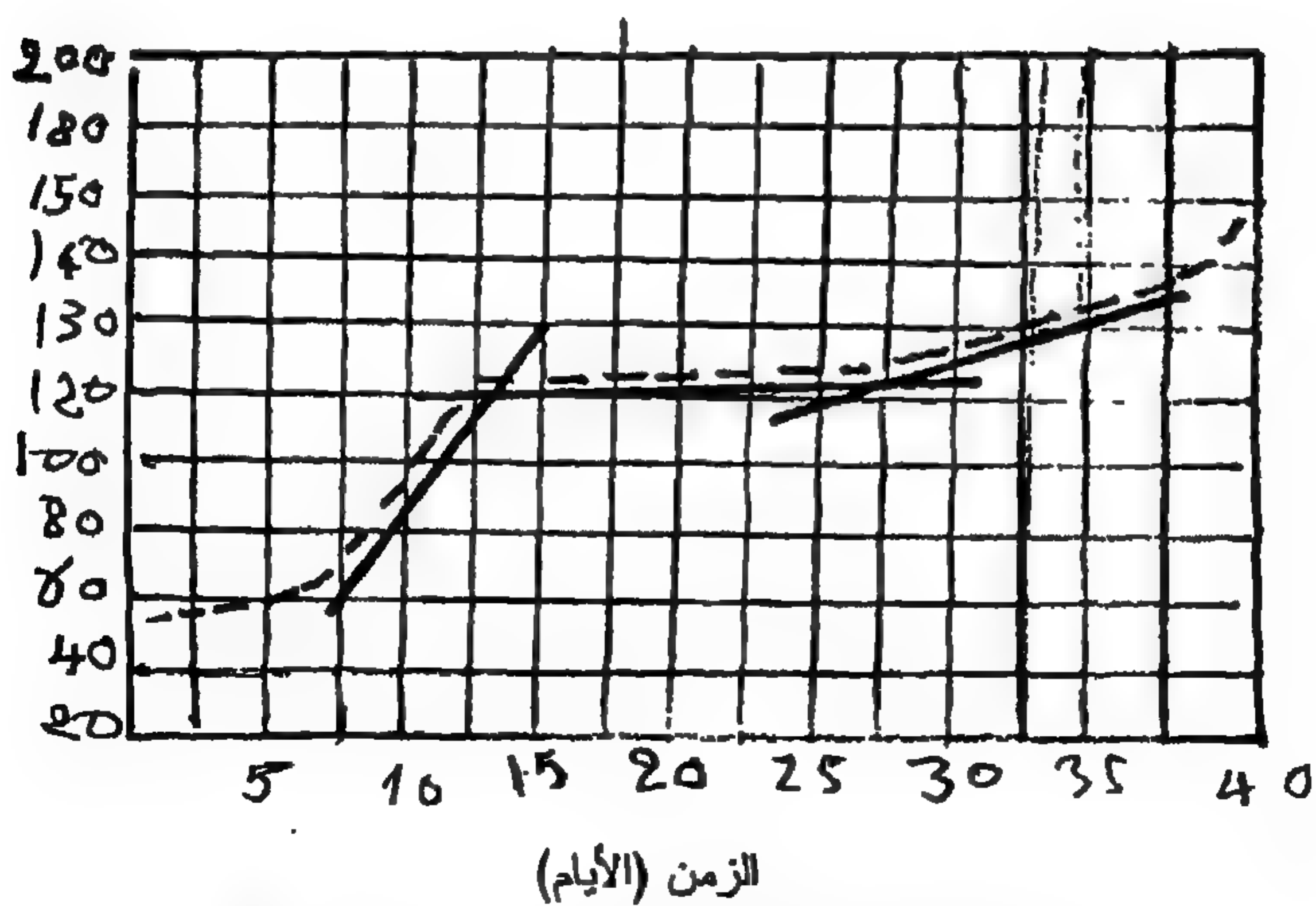


شكل (3/2) مقياس التآكل في المقاومة الكهربائية العلوى

شنته الجهاز بوصلة الكابل السفلى مخطط الجهاز



شكل (3/3) مخطط يوضح المحبس الثابت والقابل  
للاتكماش A مصدر الطاقة B وحدة القياس



شكل (3/4) تجميع البيانات من مجس مقياس التآكل



شكل (3/5) جهاز القطبين في حافظة مع وصلة للقطب

لذلك إذا كانت قيمة  $K$  معروفة ، فإن قياس كمية التيار اللازمة لتغيير الجهد للعينة بكمية معلومة فإن ذلك يمكن من حساب تيار التآكل. الطريقة المباشرة لإمكان حساب معدل التآكل لعينة صلب بالملى فى العام هى بالمعادلة الآتية:

$$\text{MPY} \quad \frac{I_{\text{cor}}}{A} = \frac{0.46 K}{\Delta E \text{ Volts}} = \frac{I_{\text{app}} (\text{microamps})}{A (\text{cm}^2)}$$

حيث  $A$  = المساحة السطحية للعينة التى تتآكل.

يمكن استنتاج هذه المعادلة من العلاقة الأولية باستخدام قانون فارادى وحقيقة أن المعدل الذى عنده يذوب المعدن يسبب التآكل يتناسب مع تيار التآكل لوحدة مساحة السطح.

عملياً الثابت  $(0.46k)$  يمكن تعويضه بالجهاز، وكلا من عينة مساحة القطب  $(A)$  وحيود الجهد  $(\Delta E)$  يتم وضعهم عند قيمة ثابتة. بذلك يمكن معايرة الجهاز للقراءة المباشرة لقيمة  $(MPY)$ .

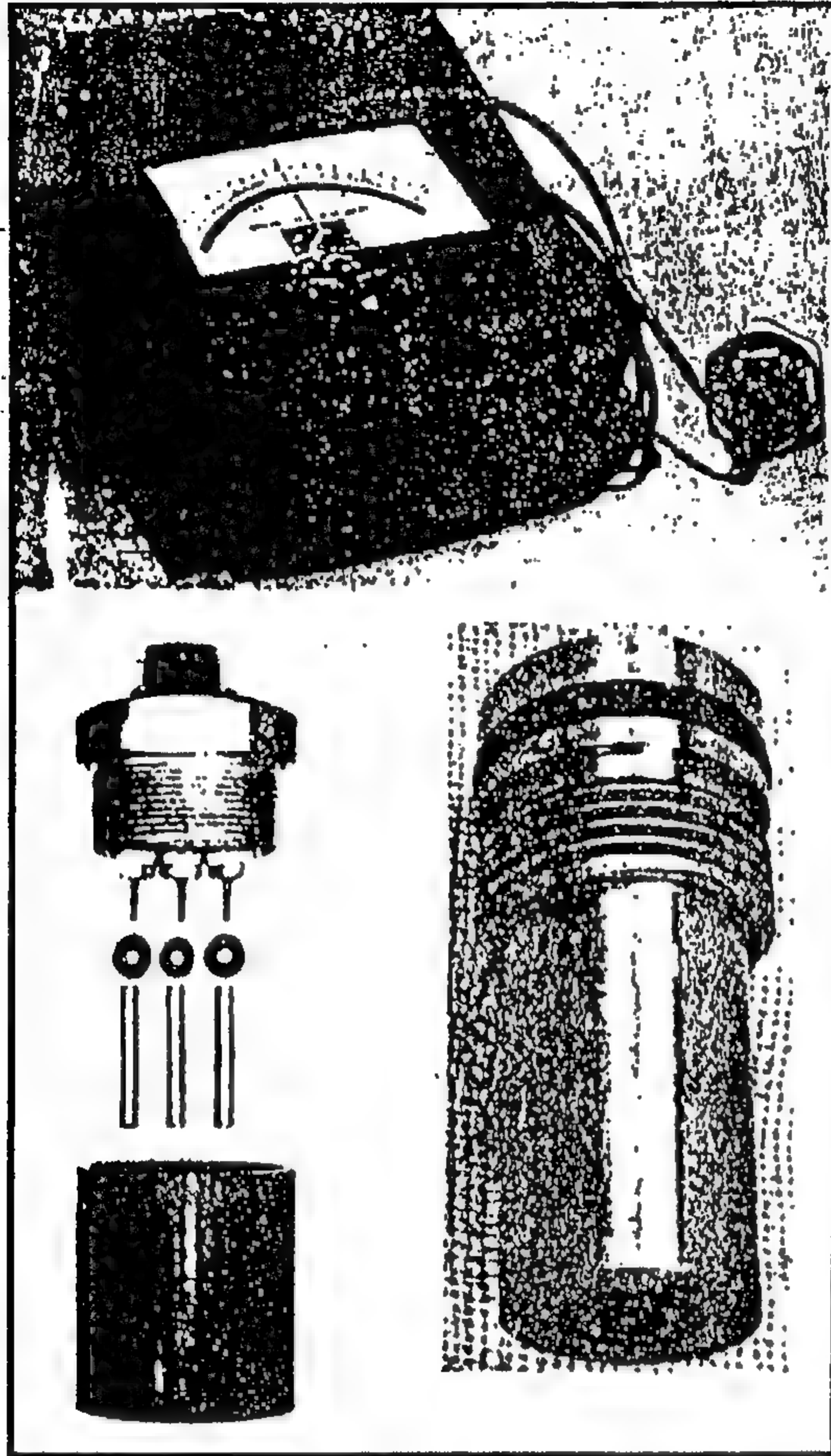
أجهزة الاستقطاب الطولى متاحة بقطبين أو ثلاث أقطاب لقياس معدل التآكل. كذلك يوجد أشكال مختلفة من الأقطاب.



جهاز الكشف عن التآكل (Corrador) ومخطط الإنشاء والدائرة موضح في الشكل (3/5) وضع المجس يكون مقلوظ للتثبيت في المواسير أو الأوعية ومتصل بمقياس بواسطة كابل. القطبين في شكل أعمدة تكون من المعدن المطلوب دراسته. يتم تعيين معدلات التآكل بقياس التيار المستخدم واللازم لاستقطاب الأقطاب إلى فرق جهد 20 مليفولت. يتم عندئذ عكس الاستقطاب (Polarity Is Reversed) وتكرار العملية.

مقياس معدل التآكل بتروليت (Petrolite) وتجهيزات المجس موضح في الشكل (3/6). المقياس يحتوى على مصدر للتيار المستمر وفولتميتر ذو دخل عالى من فولتيه معاوقة (High Input Impedance Voltmeter).

مصدر الطاقة يتم توصيله عبر اثنين من الأقطاب ، ويستخدم التيار الكافى لاستقطاب قطب الاختبار 10 مليفولت. يتم قياس جهد قطب الاختبار مقارنة بالقطب الثالث الغير مستقطب ذو الفولتميتر عالى الدخول من الفولتيه المعاوقه. استخدام تقنية الاستقطاب الطولى لقياسات معدل التآكل تكون فقط للمحاليل ذات التوصيل الكهربى ذلك لأن التيار يجب أن يسرى من قطب إلى آخر خلال المحلول المستخدم للجهد لهذه الأجهزة . يجب أن يلجأ إلى نصيحة المنتج بخصوص أداء الجهاز فى نظام محدد. القياسات لا يمكن عملها فى الزيت أو الغاز، يكون من الصعب أخذ قياسات يعتمد عليها فى التدفقات المتقطعة للغاز أو الزيت أو الماء، ولكن يمكن قياس عدوانية خليط الزيت - الماء إذا كان الماء هو فى المجال المستمر (Continuous Phase) . عناصر القطب يكن أن تصبح قصيرة بمجال موصل للحصول على نتائج خاطئة . بمجرد تركيب الأقطاب فى النظام فإنه يجب إعطائها الوقت الكافى للوصول إلى حالة الاتزان مع المجال المحيط قبل أخذ القياسات. مجسات الاستقطاب الطولى يجب أن توضع بالطريقة التى يمكنها إزالتها بسهولة بغرض النظافة والتفتيش والاستبدال.



شكل (3/6) مكونات مقياس معدل التآكل بتروليت

العلوي: حقيبة مقياس التآكل مع وصلة للمجس.

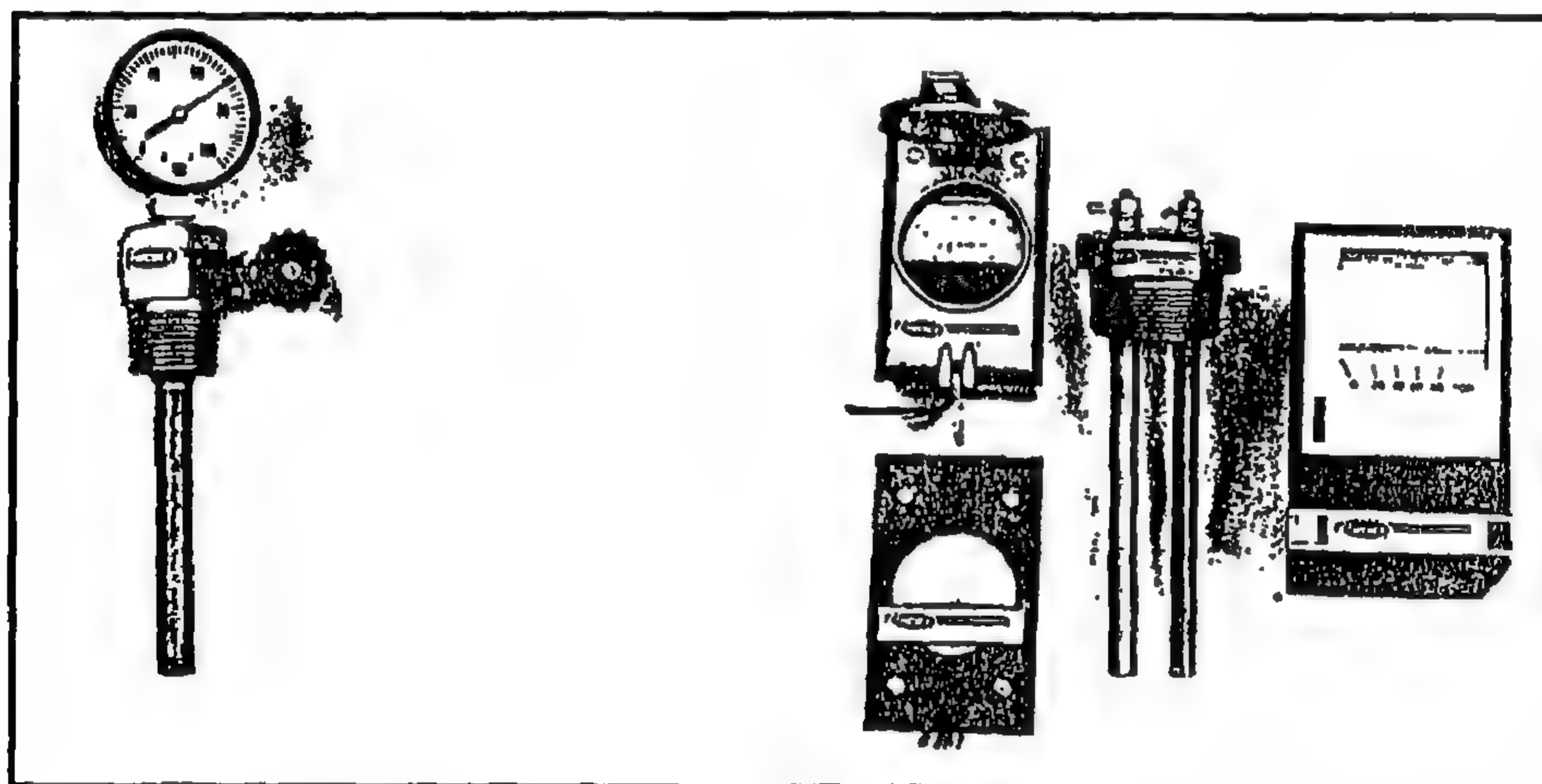
السفلى: المجس والأقطاب (يمين) مجس محمل (يسار)

### ج- المجس الجلفنى : (Galvanic probe) :

يتكون المجس الجلفنى من زوج من الأقطاب مصنوعين من معادن مختلفة، عادة من الصلب ومن النحاس الأصفر (Brass). يجب توصيل القطبين مع بعضهما باستمرار خلال مقياس أو مسجل، بينما يتم وضع القطب (Inserted) فى خزان ، أو وعاء، أو خط أنابيب. عند وصول الأقطاب إلى حالة الاتزان فى المجال الملاصق، فإنه يتم قراءة تدفق التيار فى الدائرة الكهربائية الخارجية بواسطة ميكروأميتر. كمية تدفق التيار تتناسب مع

عدوانية التآكل وبيئة المجال الملاصق. في المجال غير العدواني يكون سريان التيار منخفض ، يقاس التيار العالي في المجال العدواني. تستخدم المجسات الجلفنية لمراجعة نوعية التغيرات في معدل التآكل في النظام. الشكل (3/7) يوضح تجهيز المجس الجلفني. حدود استخدام هذه الطريقة:

- ✓ تستخدم عادة لقياس تآكل الأكسجين المذاب أكثر من عدوانية ثاني أكسيد الكربون أو كبريتيد الهيدروجين في آبار الزيت.
- ✓ وهي معرضة لنفس المعوقات بالنسبة لتراكمات البيولوجية مثل شرائح عينات قياس التآكل والمجسات الأخرى.



شكل (3/7) نموذج للمجس الحلقى موضعا  
3 متر لقياس ميكروأمبير التيار المستمر  
وتجهيز المجس

شكل (3/8) مجس  
الهيدروجين

#### د- مجس الهيدروجين : Hydrogen Probe :

أبسط شكل لمجس الهيدروجين يتكون من أنبوبة صلب مفرغة ذات جدار رقيق والتي تكون ملحومة عند أحد النهايات ومجهزة بعداد ضغط عند النهاية الأخرى شكل (3/8). تستخدم هذه المجسات أساساً في النظم المحتوية على بعض من أيون الكبريتيد وتستفيد بحقيقة أن جزء من الهيدروجين الذري ( $H^+$ ) الناتج عن تفاعل التآكل سيتسرب خلال جدار الماسورة (خاصة في حالة وجود كبريتيد الهيدروجين) بمجرد الوصول إلى

داخل فراغ الأنبوبة، ذرات الهيدروجين ستتحول إلى جزئيات الهيدروجين الغازى ( $H_2$ ) والتي هي ضخمة جداً بحيث لا تستطيع التسرب ثانياً خلال جدار الأنبوبة. وبذا، فإن الضغط داخل الأنبوبة سيرتفع بنسبة كمية الهيدروجين الموجودة فى الأنبوبة والذي هو دلالة لكمية الهيدروجين الناتجة عن تفاعل التآكل. مجس الهيدروجين عبارة عن أداة نوعية أو نسبة نوعية والتي يمكن أن تستخدم مع تقنيات أخرى لقياس معدل التآكل. وهذه استخدمت عادة فى النظم الحامضية (Sour - المحتوية على  $H_2S$ ) كما زاد استخدامها فى النظم الخالية من الكبريت (Sweet) كذلك. ولكن فى عدم وجود السلفيد تكون الحساسية أقل كثيراً.

#### 4- الطرق الكيماوية : (Chemical Methods) :

##### أ- الحديد المذاب :

أحد الطرق لتعيين التآكل وتقدير تأثير مقاومته هو بقياس محتوى الحديد فى السائل. دراسة المحتوى من الأيونات يمكن تقسيمه إلى ثلاث خطوات أساسية: وهى أخذ العينات، التحليل ، التقييم والتفسير.

أخذ العينات هو الخطوة الهامة ذلك لأن تقييم الاستفادة من الدراسة يتوقف على دقة البيانات. يجب مراعاة الآتى عند جمع العينات التقدير المحتوى من الحديد.

1. نظافة وعاء العينة هام جداً، حيث يجب أن يكون نظيفاً وخالى من الحديد. أوانى حفظ الفاكهة القياسية مناسبة لأخذ العينات. ولكن الغطاء الأحمر من المطاط يحتوى على إضافات من أكسيد الحديد. توجد سدادات بدون حشوه منع التسرب حيث يمكن حشر النيوبرين فى السدادة. (وهذا كذلك يمنع الالتصاق بين سوائى البئر وغطاء المعدن).

2. محبس - العينة يجب أن يكون خالى من الصدأ والترسيبات. يتم ما أمكن إزالة أى وصلات مقلوطة أو وصلات أخرى تحت التيار لمحبس العينة والذي يكون مفتوح للهواء. أحد التقنيات المؤثرة فى المساعدة فى أخذ العينات هى باستخدام الوصلات للعينة من النحاس الأصفر الملولة فى مجس العينة. هذه الوصلات تعمل على خفض الطرشة واستبدال وصلات الحديد التى صدأت فى الهواء. ينصح أحياناً بغسيل مجس



- العينة. يمكن استخدام حامض الهيدروكلوريك المخفف في إناء غسيل من البلاستيك لشطف (غسيل) حبيبات أكسيد الحديد من المجس قبل فتحه لأخذ العينة.
3. يتم غسيل مجس العينة والوصلات المقلوطة فوق التيار تماماً. ذلك لأن المطلوب عادة أن تكون العينة ممثلة للسائل المتدفق، يتم غسيل الوصلات بتدفقات المياه (Flushed) لتأكيد أن العينة من سائل طازج، مع عدم وجود سائل مكثف في الفراغ الميت في الوصلة المقلوطة أو السدادة.
4. يتم تجنب الطرشة والفائض عن حد ملئ الإناء عند جمع العينة لتحليل الحديد. الحديد في المحلول قد يتأكسد عند الجمع أو أن يتم حمل جسيمات من نواتج التآكل في السائل. الطرشة وفائض حد الملئ للوعاء يعمل على تركيز هذه المواد الصلبة بما ينتج عنه نتائج خاطئة.
5. قبل كل شيء، يجب أن تكون العينة ممثلة للسائل ولا تكون ملوثة برواسب الصدا.. الخ حول محبس العينة.
- تم التأكيد على النظافة والغسيل بدفع الماء ذلك لأنه من السهل تلوث العينة بالحديد. حتى في أسوأ الظروف يمكن أن يكون موجود فقط عدة مئات من أجزاء الحديد في مليون جزء من الماء، وعادة يتم العمل في مجال 20 جزء في المليون. قطعة من أكسيد الحديد (صدا) في حجم رأس الدبوس الكبير المذابة في 8/1 جالون من السائل تعادل حوالي 10 جزء في المليون من الحديد. لذلك فإنه من السهل جداً تلوث العينة بترك الصدا والترسيبات لدخولها نتيجة الإهمال. عادة الماء في العينة يتحول إلى الأحمر أو يلون الصدا عند جمعه، أو بعد جمعه مباشرة. وهذا عادة يعني أن الحديد الذي كان مذاباً في العينة يكون تم تفاعله مع الهواء ليكون أكسيد الحديد. في حالة التحول إلى اللون الأسود يمكن وجود وتكون كبريتيد الحديد (رغم أن بعض أكاسيد الحديد هي كذلك سوداء). لمنع تكون أكسيد الحديد أو كبريتيد الحديد من أن يتكون في العينة فإنه يمكن جمعه بحامض في الوعاء. توجد طرق متعددة لتحليل الحديد في السائل. بعض هذه الطرق يمكن استخدامه في الموقع، والبعض الآخر يستخدم فقط في المعمل. عند البدء في دراسة

المحتوى من الحديد في مساحة جديدة، يكون الضروري عمل بعض المراجعات لطريقة التحليل مع السائل الجديد، ذلك لأن مواد أخرى مذابة يمكن أن تؤثر على تحليل الحديد.

وأخيراً، من الطبيعي تقييم البيانات في آبار الغاز حيث ينتج فقط كميات صغيرة من الماء، فإنه عادة يكفي استخدام المحتوى من الحديد كما هو، لمقارنة المحتوى من الحديد من عينة لعينة أو بئر إلى بئر. في النظم حيث تنتج كميات كبيرة من السوائل، عادة يتم تحويل عدد الحديد إلى أرطال الحديد في اليوم كأساس. ذلك مع الأخذ في الاعتبار حجم السوائل المنتجة. أحجام السوائل تزداد عادة يوماً بعد يوم خلال فترة زمنية بسبب زيادة إنتاج المياه أو التغير في حالات الرفع. كذلك فإن الحجم اليومي يتغير من بئر إلى بئر في نفس فترة التشغيل (Lease). عند تقدير نتائج المحتوى من الحديد، فإنه يجب أن يؤخذ في الاعتبار عوامل أخرى مثل:

1. ما هي طول فترة إنتاج البئر قبل أخذ العينة؟ إذا أخذت العينة بمجرد بدء التشغيل ثم بعد الإنتاج لعدة أيام، فإن محتوى الحديد يمكن أن يكون مختلف.
2. هل حدث عمل ما في البئر قريباً؟ فإذا حدث تغير في تغير معدات البئر خلال عدة أيام قبل أخذ العينات، فإن المحتوى من الحديد يمكن أن يكون أعلا عن العادي حتى في حالة الآبار المثبطة بنجاح بسبب تفكك الترسيبات ... الخ عند تحريك المعدة داخل وخارج فتحة البئر.
3. هل الماء له نفس مكونات الأملاح المعدنية في كل وقت تؤخذ منه العينة؟ يبدو أن ذلك هاماً وخاصة في آبار الغاز. ومعظم المياه في العمر الأولى لبئر الغاز يسمى الماء المكثف (Condensed Water) أي هذا الماء كان بخاراً في الخزان وعند قاع البئر. عند صعود البخار إلى السطح، فإن تغيرات درجة الحرارة والضغط تعمل على تكثيف هذا البخار. عند إذابة البخار فإن الغازات الحامضية تذوب في السائل حيث يمكن للتآكل أن يحدث، وهذا هو الماء الذي تؤخذ منه العينة والحديد هو ناتج عن التآكل. في كثير من آبار الغاز يمكن إنتاج مياه التكوينات الأرضية مع المياه المكثفة. ماء التكوينات الأرضية عادة مالح ويحتوي على كثير من الأملاح المعدنية.

حتى أنه يمكن أن يحتوى على حديد من التربة. ولكن لسوء الحظ فإن كمية مياه التربة فى إجمالى الماء المنتج عادة ليست ثابتة.

4. أحد العينات من بئر يمكن تحليلها كمياه مكثفة نقية، واليوم التالى يمكن أن تكون معظم العينة ماء التربة. كما هو واضح، إذا كان ماء التربة محتوياً على حديد مذاب من التربة، فإن هذا الحديد سيتم تحليله مع الحديد من التآكل وأن عد الحديد سيكون أعلا عن العادى. مياه مخلفات الحامض الناتج عن معالجة البئر بالحامض قد تحتوى كذلك على كميات كبيرة من الحديد الذى أذابها الحديد من التربة.

5. من أين تؤخذ العينات من النظام؟ وهل كانت كل العينات من نفس المكان؟ كما يمكن تصوره، فإن ذلك يمكن أن يكون هاماً عندما تكون المياه شديدة العدوانية، ذلك لأن محتوى الحديد يمكن أن يتغير طبقاً لكمية الصلب التى تلتصق بها. عند دراسة تآكل الآبار، من المفضل دائماً الحصول على عينات المحتوى من الحديد قريباً من رأس البئر كلما أمكن ذلك.

توجد أنواع مختلفة من نظام أخذ العينات من رأس البئر. فى آبار الزيت، يكفى فقط توفير محبس تسرب. فى حالة آبار الغاز يكون من الضرورى عادة توفر وعاء أخذ العينات من نوع ما لجمع المياه. توجد أشياء كثيرة يجب أن تؤخذ فى الاعتبار عند تقدير محتوى الحديد وهذه تختلف من حقل إلى آخر. رغم الاختلافات الكثيرة، إلا أن محتوى الحديد هو أحد أهم الأدوات المفيدة. وهذا حقيقى تحديداً عند تقدير تأثير برنامج مثبط التآكل حيث خفض المحتوى من الحديد عن مستوى المعالجة المسبقة يظهر نجاح التحكم.

#### تحليل ناتج التآكل : (Corrosion product Analysis) :

التحليل الكيماوى لعينات نواتج التآكل والترسيبات من النظام يمكن أن يكون جزء هام من برنامج التحكم. العينات يمكن أن تؤخذ مباشرة من المعدة أو من شرائح عينات الاختبار أو من وصلات الاختبار المقلوطة (Nipples). معرفة مكونات هذه الترسيبات يساعد فى تقدير نوع المشكلة واكتشاف التغيرات فى النظام. للدقة، فإن التحاليل يجب أن تتم فى المعمل.

ثانياً، جمع وتداول العينة هام بالنسبة للتقدير المناسب للنتائج. إنه يكون من المفيد جداً إذا كان الشخص المنوط به أخذ العينات يقوم بتوفير التفاصيل الكاملة عن ظروف وأماكن العينات.

عينات نواتج التآكل يمكن أن تتغير كيميائياً بمجرد سحبها، فمثلاً، عند التصاق كبريتيد الحديد بالهواء الجوى فإنه يبدأ فى الأكسدة والتحول إلى أكسيد الحديد. العينة التى كانت سوداء لوجود كبريتيد الحديد عند جمعها يمكن أن تكون حمراء - بنى من أكسيد الحديد عند وصولها إلى المعمل . لذلك ، فإن لون العينة عند توقيت الجمع يصبح من المعلومات الهامة.

### تحليل الغاز : (Gas Analysis) :

أهم الغازات بالنسبة للتآكل هى كبريتيد الهيدروجين، ثانى أكسيد الكربون، الأكسجين. درجة الأهمية وبذا المراقبه المطلوبة ستتغير طبقاً للنظام. فى حالة بئر الغاز أو تطبيقات تداول الغاز، فإن تعيين تركيزات هذه الغازات ( $O_2$  ,  $CO_2$  ,  $H_2S$ ) يعتبر روتينى عند وجودهم بكميات كبيرة. كميات قليلة جداً من كبريتيد الهيدروجين والأكسجين من الصعب كشفهم ولكن يمكن أن يكونوا بأهمية بالغة- فمثلاً، آثار قليلة من  $H_2S$  يمكن أن تسبب التشقق للصلب على القوة. فى آبار الزيت القياسات يمكن أن تكون أكثر صعوبة والعامل الهام هو وجود أو عدم وجود الغاز. فى نظم المياه تصبح الغازات المذابة بالغة الأهمية ورصد  $O_2$  ,  $H_2S$  من بين الجزء الحساس فى تصبح الأعطال والتحكم. الاختبارات الحقلية متاحة للكشف عن محتوى كبريتيد الهيدروجين بسهولة. والآن أصبح مقياس الأكسجين بدقة فى الموقع متاح فى معظم النظم. كما هو الحال بالأدوات التخصصية فإن الخبرة تعتبر هام جداً فى الحصول على البيانات وتقييم النتائج.

### نشاط البكتريا : (Bacterial Activity) :

نشاط البكتريا يمكن أن يسبب عدد من المشاكل وخاصة فى نظم تداول المياه. من هذه المشاكل التراكم البيولوجى أو الترسيبات البيولوجية التى تسبب التآكل الثقبى - وكذلك النشاط اللاهوائى للبكتريا فى حالة النهايات الميتة وانخفاض معدلات التدفق وعدم وجود



الأكسجين حيث تنشط البكتريا المختزلة للكبريتات منتجة كبريتيد الهيدروجين المسبب للتآكل.

### اختبارات المثبط : Inhibitor Tests :

تعيين تركيز المثبط في السائل من الاختبارات المفيدة. توجد طرق تحليلية لتعيين كمية المثبط في النظام. لبعض المواد يكون التحليل الكيماوي مطلوب والمواد أخرى يمكن استخدام اختبار حقل بسيط لتعيين وجود أو تركيز المثبط في تدفق السائل. وهذا ما يسمى باختبار أيون النحاس "Copper Ion-Test" والذي يستخدم لتعيين وجود المثبط في سوائل البئر. في هذه الحالة شريحة عينة الاختبار للمعدن المعرض للسوائل يتم غمرها في محلول نحاس. في حالة أو حيثما وجدت طبقة من المثبط، فإنه سوف لا يرسب النحاس. النحاس سوف يرسب على الصلب الغير مغطى في العينة. وبذا يمكن عمل اختبار تآكل مبدئي بالنسبة لوجود المثبط أو تأثيره.

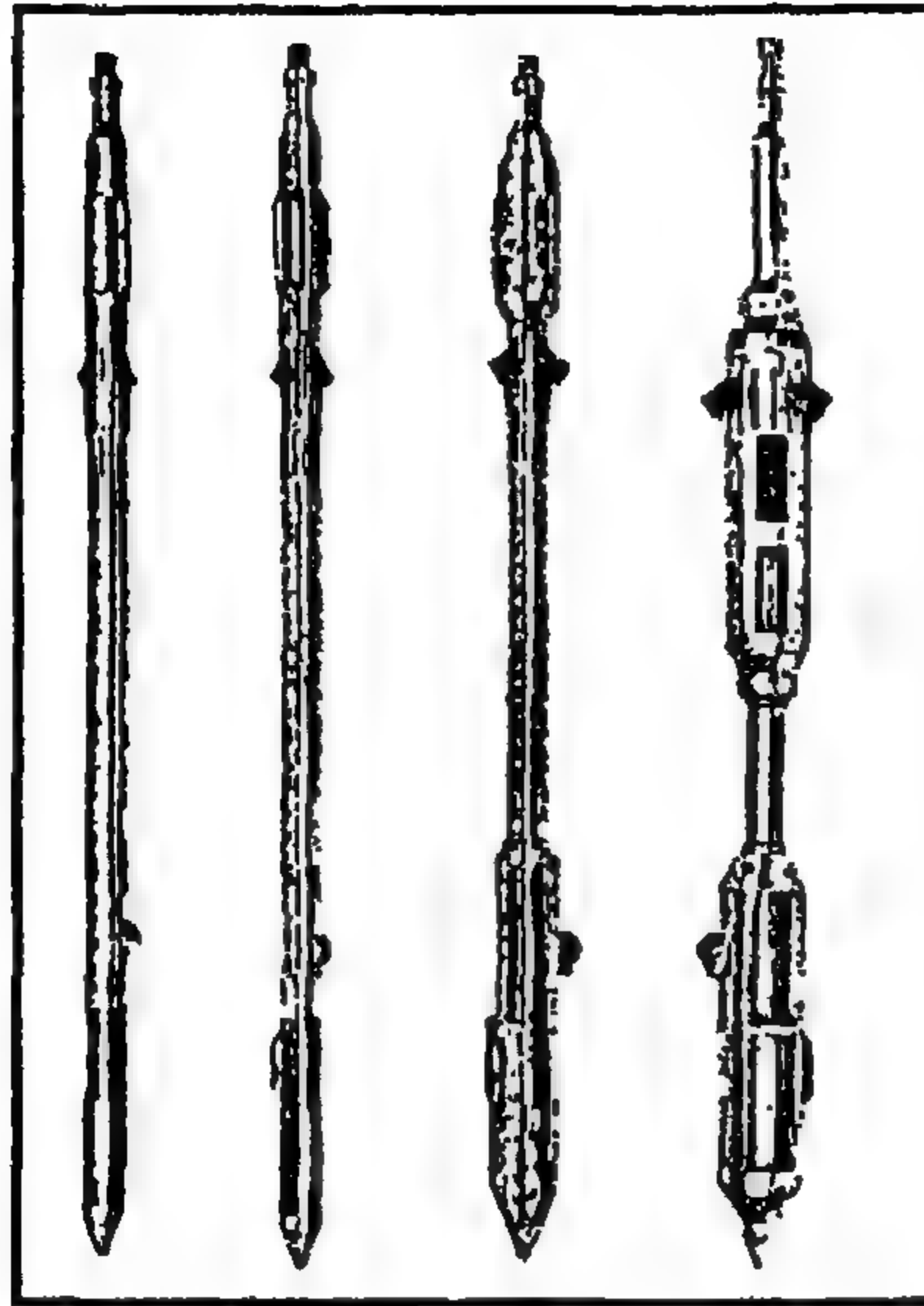
### 5- أدوات التفتيش : (Inspection Tools) :

#### أ- التفتيش أسفل البئر : (Downhole Inspection)

تتوفر أدوات كثيرة لقياس الفقد في المعدن في المواسير والقيسونات أسفل البئر. بعضها يكشف التآكل الداخلي أو الفقد في المعدن وبعضها يقيس سمك الجدار بدون التمييز بين التآكل الداخلي أو الخارجي.

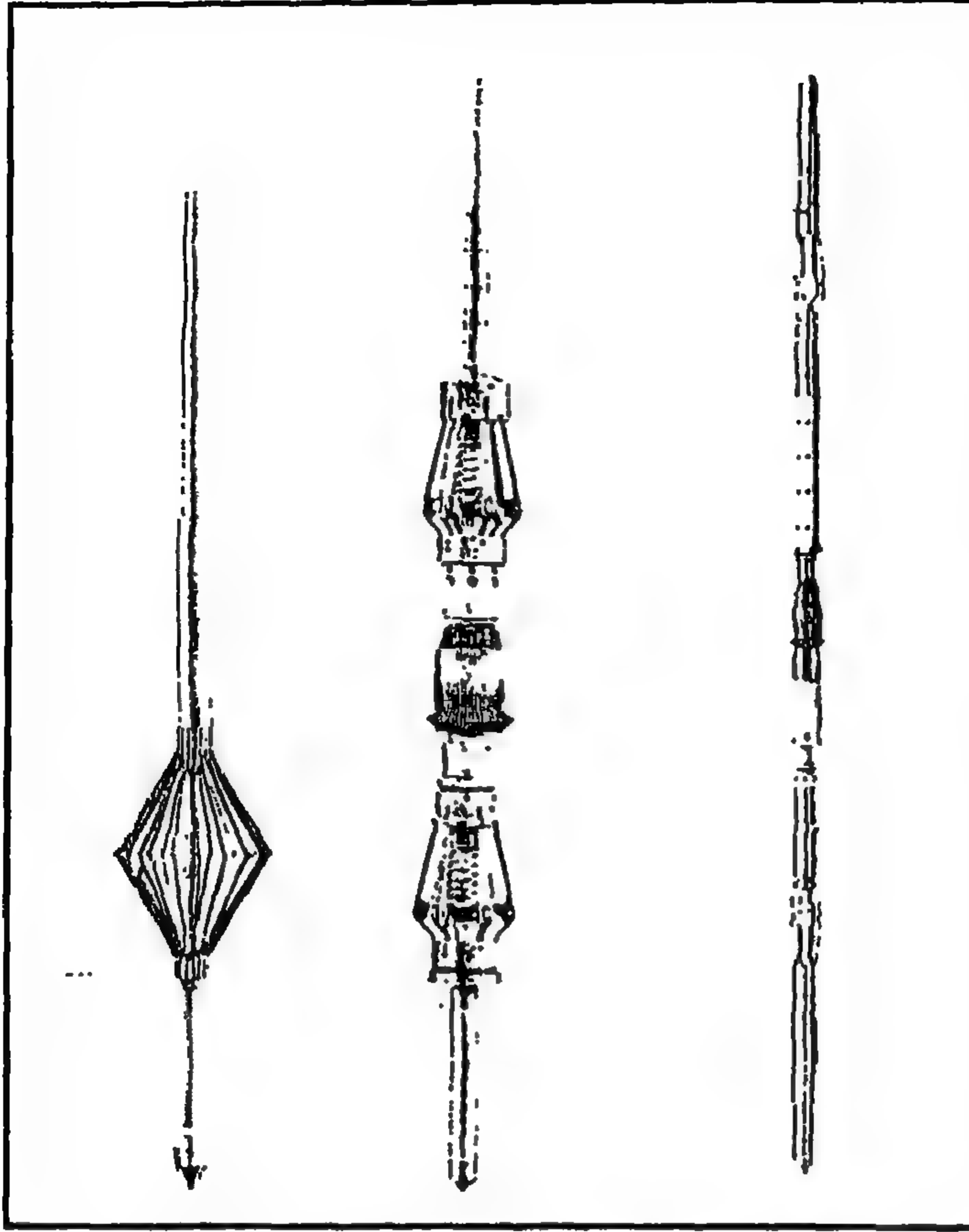
#### (أ) قياس السماكة للتآكل بآلة ذات الفكين : (Profile Type Corrosion Caliper)

قياس سمك التآكل بجهاز القياس للمباحث السفلية للبئر زاد استخدامها لسنين كثيرة. المعيار الداخلي يقيس القطر الداخلي للمواسير أو القيسونات موضعاً التآكل العام أو التآكل النقبي. استخدمت الأداة أصلاً للكشف عن التآكل في آبار الغاز التي تعمل بالتفريغ والتي تعمل بالرفع. ولكن استخدامها إمتد لبعض التطبيقات مثل القياس الفوري لبري المواسير والتآكل في قضيب ضخ الآبار. أعمال الاستطلاع في بئر الضخ تمكن العامل من تصنيف حالة ونوع المواسير. المواسير القديمة يمكن وضعها جانباً بينما المقاطع المفيدة يمكن إعادة تنظيمها لامتداد عمر عامود المواسير.



شكل (3/9) يسار أدنى قطر داخلي للقيود. وسط مقياس سمك القيود.  
يمين مقياس سمك المواسير

معايير القياس الداخلي للمواسير والقيسونات موضحة في الشكل (3/9) طبقاً لقطر المواسير يوجد من 26 إلى 44 مستشعر (Feelers) حول المحيط الخارجي للأداة الذي يكشف عدم الانتظامات الصغيرة (Small Irregularities). معايير القياس للقيسون لها 40 إلى 64 مستشعر. المستشعرات تمتد إلى الجزء في القضيب (Rodscore) أو الثقب وتغير ميكانيكياً الوضع على البوتنشيوميتر (Potentiometer) فوق تجهيز المستشعرات. ينقل التغير خلال كابل توصيل إلى السطح حيث يتم التسجيل للبيان بصفة مستمرة على مخطط.



شكل (3/10) مقاييس التخارئة (Kinley) من اليسار إلى اليمين 2، 2.5، 3 بوصة للمواسير للقيسون 5 بوصة. التسجيلات من كل من الـ 15 مستشعر يكون مسجل داخلياً لكل دورة حتى 14000 قدم.

الشكل (3/10) يوضح أشكال مختلفة لمعيار كينلي الميكروسكوبي (Kinley) المصمم للعمل في مواسير 2-3 بوصة، وقيسونات 5 بوصة. توجد أقطار مختلفة أخرى وكذلك معدة خاصة للآبار المنتجة لكبريتيد الهيدروجين. هذه المعدة تستخدم 15 مستشعر وينتج طباعة تسجيل عليها كل البيانات منها الوصلات، الحلقات وعلامات الالتقاط (Tong Marks)، وتأثيرات داخلية أخرى يتم تسجيلها. الجهاز مصمم بطريقة يمكنه تجنب كثيراً من المشاكل التي تصادفها أجهزة أخرى. يمكن العمل حتى طول 14000 قدم والتسجيل يوفر التمييز بين التآكل الحلقى والخطي، الثقوب المعزولة وأشكال التآكل

الأخرى. المباحث باستخدام المعيار (Caliper) له قيمة كبيرة عند استخدامه على أساس المقارنة لتعيين تأثير برنامج مثبط التآكل . يجب عمل لمحة تاريخية على الخلفية قبل بدء البرنامج، وهذه يليها استطلاع حقل باستخدام المعيار وذلك بعد مرور فترة زمنية مناسبة. من خلال حدود الأداة هذا الاستطلاع هو قياس مباشر لتقدم التآكل في المعدة تحت السطح.

### حدود الاستخدام كالاتى :

1. نواتج التآكل والترسيبات قد تخفى الثقوب. كلما أمكن يتم تحميض البئر قبل علم استطلاع المعيار في حالة معرفة وجود مشاكل قشور وترسيبات في البئر.
2. بعض الثقوب يمكن تخطيها بسبب الفواصل بين المستشعرات ، ولكن يتم تقييم الحالة العامة للمواسير.
3. المواسير المبطنة بالبلاستيك يمكن أن تتلف عند استخدام معيار المباحث. وهذا يتطلب مراجعة المنتج.
4. مستشعرات المعيار يمكن أن تزيل ترسيبات الحماية أو طبقة المثبط من المواسير. في حالة عودة استخدام البئر للعمل بدون المعالجة الفورية بمثبط التآكل، فإنه يمكن حدوث ظاهرة تعرف بتآكل مسار المعيار (Caliper Track Corrosion).

### ب- جهاز كشف تآكل القيسون الكهرومغناطيسى

#### Electromagnetic Casing Corrosion Detector:

جهاز كشف تآكل القيسون الكهرومغناطيسى يقيس سمك جدار القيسون ويوفر بيان عن المساحات التي حدث بها تآكل ، وكذلك التسرب والثقوب. يتم إدخال تيار متغير خلال ملف التوليد فيض مغناطيسى (Magnetic flux) يمر الفيض المغناطيسى إلى الخارج خلال القيسون وجزء يمر إلى الخلف خلال القيسون إلى المستقبل. حيث أن الفيض يخرق الصلب فإنه يخف ويتوهن ويتغير شكله. كلما زاد سمك المعدن زاد الضعف والتغير في الشكل . الأداة سبق معايرتها مع قيون سميك الجدار ورقيق الجدار بسماكة معلومة.



الفقد الداخلى أو الخارجى للمعدن من القيسون خلال مجال الحساسية للجهاز يتم كشفه. الإدارة يمكن استخدامها فى وجود أو عدم وجود السوائل ولا تتأثر بالترسيبات القشرية أو الأسمنت.

حدود الاستخدام هي كالاتى :

1. لا يمكن عمل التفرقة بين التآكل (فقد المعدن) على داخل أو خارج القيسون.
2. الثقوب ذات القطر أصغر من حوالى بوصة لا يمكن كشفها بسرعة بالجهاز.
3. التغير فى سمك جدار القيسون بسبب التجاوز فى التصنيع ، التغير فى النفاذية المغناطيسية والعوامل الأخرى يمكن أن ينتج سجل (Log) يصعب تفسيره. ينصح بعمل سجل على جدار جديد كمؤشر لإمكان استنتاج تآكل القيسون من التاريخ السابق فى المنطقة.

جـ- آلة قياس السماكة للقيسون الإليكترونية ذات الفكين :

### Electronic Casing Caliper

جهاز قياس السمك الإليكترونى يختلف عن المقياس للسمك الإليكتروميكانيكى فى أنه يستخدم أداة كهرومغناطيسية لقياس القطر الداخلى للقيسون بدون استخدام مستشعرات (Feelers) تلتصق بسطح المعدن. القطر الداخلى يتم قياسه على طول الـ 2 بوصة، والبيان عن متوسط القطر تنتقل إلى السطح خلال سلك موصل. المقياس تحديداً حساس للشقوق الرأسية أو الثقوب ولكنه يكشف كذلك ثقوب أو حفر بقطر حوالى 1 بوصة. الأداة معايرة مسبقاً مع جلبة القيسون لتأكيد الدقة فى كل دورة. حدود هذه الأداة الآتى:

- ✓ الثقوب والحفر بقطر أقل من 1 بوصة لا يمكن كشفها.
- ✓ يتم عمل سجل تاريخى على الورش لأغراض الاسترشاد قبل حدوث التآكل.

د- الجمع ما بين المقياس ذو الفكين، أداة القيسون الإليكترومغناطيسية:

### Caliper and Electromagnetic Casing Tool Combination:

الجمع بين أداة تآكل القيسون الكهرومغناطيسية ومقياس قياس السمك ذو الفكين الكهروميكانيكى أو الإليكترونى يوفر صورة واضحة لحالة القيسون فى البئر. هذا الجمع

سوف يفرق ما بين التآكل الداخلى والخارجى حتى فى حالة عدم اختراقه لجدار القيسون. استخدام الجمع بين التقنيتين يوصى به عن أداة القيسون الكهرومغناطيسية فقط ذلك لأنه من الضرورى تعيين ما إذا كان التآكل داخلى أو خارجى ذلك لإمكان توصيف إجراءات الحماية.

**التعرف الكهرومغناطيسى على تآكل القيسون :**

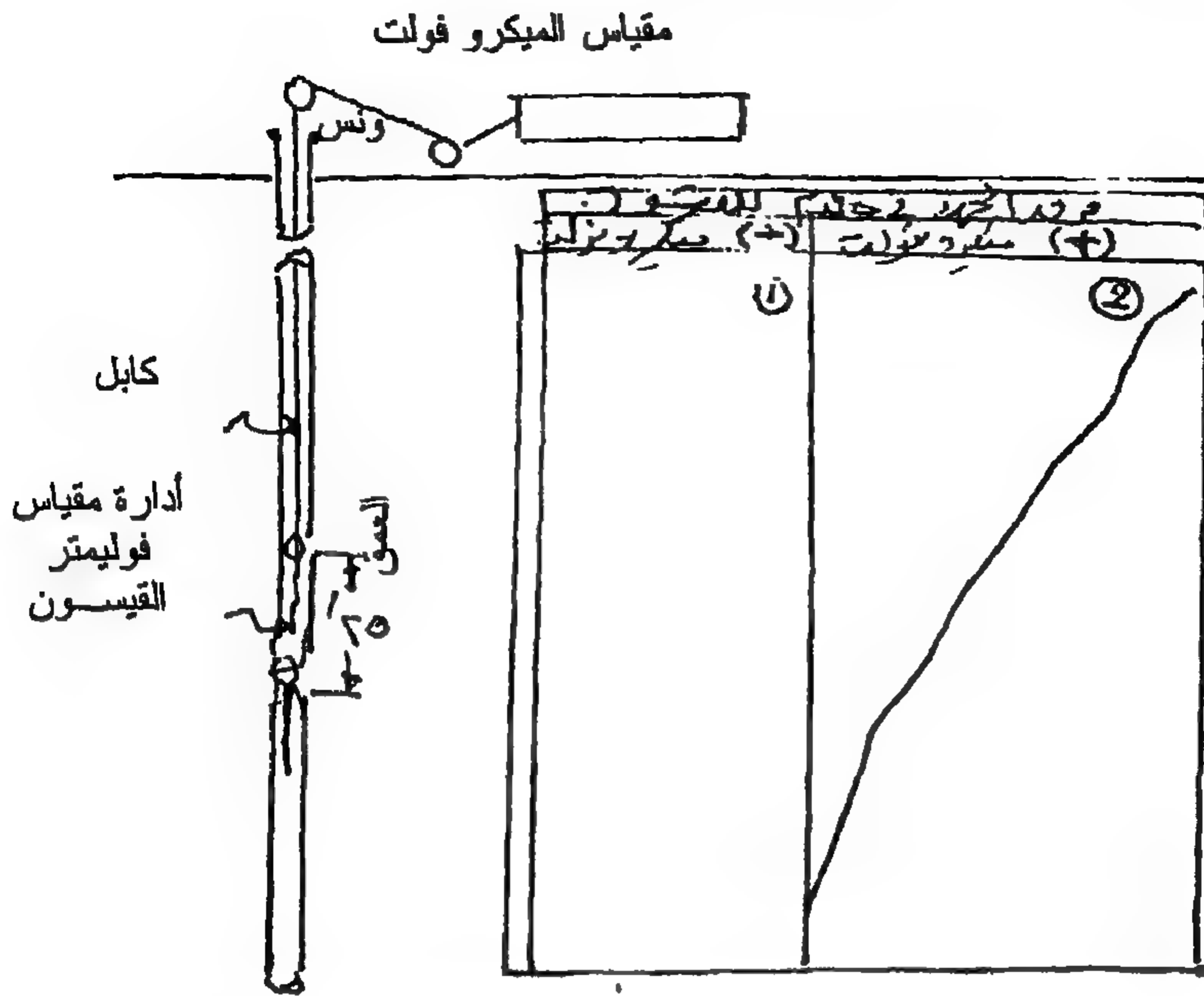
### **Electromagnetic Identification of Casing Attack:**

أداة التفتيش مصممة لتوفير تفسيراً كهرومغناطيسية لتسجيل البيانات وإمكان التعرف على التآكل ، مع التفريق ما بين الشذوذ المحيطى الداخلى والخارجى والمعزول. الجهاز يوفر 4 قنوات للتسجيل ، منهم قناتين تعرف بقناتى مقدار التسرب (Flux Leakage) ، قناة التمييز والتي تسجل عندما يكون الشذوذ داخل القيسون والقناة الرابعة التى تسجل المتوسط. قناة المتوسط هى التى تحدد سواء كان الشذوذ محيطى أم لا.

بيانات أساسية مختلفة متعلقة بالبئر مثل قطر ووزن ودرجة القيسون ، وقطر وأطوال عامود المواسير ومعلومات أخرى ، كل هذا مطلوب لتفسير التسجيل. بعد توصيل بيانات التسجيل (Log) ، فإن التفسير يمكن توضيح تقسيم التلف لكل وصلة، نسبة الاختراق، وتأثيرات أخرى. مقارنة التسجيلات المتتالية تمكن من تقدير معدل التآكل عند كل وصلة.

### **أداة تقدير جهد القيسون: (Casing.Potential Profile Test) :**

أداة تقدير جهد القيسون شكل (3 / 11) تقوم بجزء هام فى التحكم فى تآكل القيسون. هذه الأداة تتكون من مجموعتين زمبرك حامل لملامسين سكية (Spring Loaded contactor knives) والتي تكون عادة بفاصل 25 قدم. مجموعات السكاكين هذه معزولة عن بعضها البعض وعن جسم الأداة نفسه. أسلاك توصيل من السكاكين تكون متصلة بوحدة ميكروفولتمتر (Microvoltmeter) عند السطح. يتم وضع الجهاز عند العمق المطلوب ، يتم وضع السكاكين لعمل توصيل كهربائى جيد مع جدار القيسون وتؤخذ القراءات للفولت بين السكاكين. هذا الفولت هو الخفض (TR) فى طول 25 قدم للقيسون بسبب سريان التيار إما إلى أعلا أو إلى أسفل ، وكمية الخفض فى قيمة (IR) ( حيث أن المقاومة R لجدار القيسون يفترض أنها ثابتة على طول عامود القيسون كله بنفس الدرجة والحجم) تتناسب مع كمية التيار السارى. استقطاب الجهد المقاس عند السطح توضح ما إذا كان تدفق التيار لأعلا أم إلى أسفل.



شكل (3/11) تسجيل فولت القوين الذي يوفر المناطق الأنودية والكاثودية في القيسون المنحني (1) بدون تيار مسلط (2) الفولت بعد التغذية بالتيار

يأخذ عدة قراءات متتالية على مراحل مثلاً 50 قدم ، وتوصيل النقاط يستم الحصول على منحنى والذي يمكن تقسيمه لتوفير عديد من المعلومات.

المنحني رقم 1 في الشكل (3/11) مثال للتسجيل الذي يمكن الحصول عليه في القيسون تحت ما يسمى "الحالة الطبيعية" (Native State Condition) أي بدون استخدام تيار خارجي للحماية الكاثودية.

بدءاً بقراءات السجل من أعلا إلى النقطة (A) على المنحني (1) ، هذه القراءات حيث أن استقطابها سالب، يتبين أن التيار يسرى أسفل القيسون. حيث أن ميل المنحني في اتجاه أكثر سلباً (متقدمة نحو النقطة A) ، هذا يعني أن كل قراءة متتالية تبين أن التيار يكون داخلاً إلى القيسون من المكونات للتربة ، وبذا فإن هذا الجزء من القيسون يصمم ليكون منطقة كاثودية ، أو المساحة حيث يدخل فيها التيار. من النقطة (A) إلى صفر المحور للتسجيل (Zero Axis of log) ، يتغير الميل نحو الاتجاه الموجب ، مبيناً أن التيار يكون تاركاً القيسون ، وأنه لذلك فإن هذا الجزء من القيسون هو منطقة أنودية ، أو

المساحة حيث يكون التيار تاركاً القيسون. عندما يقطع المنحنى صفر المحور للتسجيل، لا يكون هناك تيار يسرى. من هذه النقطة إلى النقطة (B) فإن القراءات، حيث أنها على الجانب الموجب، تبين أن التيار يسرى أعلا القيسون، ونظراً لأن كل قراءة تالية يتبين زيادة سريان التيار، فإن البيان كذلك هو أن النقطة أنودية. من النقطة (B) إلى القاع، ينقلب الميل، وهذا تبين كذلك أن المساحة للقيسون تكون مساحة كاثودية، حيث يكون دخول التيار. بإيجاز الحالة المحلية للتسجيل لهذا البئر يتبين عموماً أن المنطقة من النقطة (A) إلى النقطة (B) هي المنطقة حيث يخرج التيار من القيسون، أو المنطقة الأنودية وهذه حيث يحدث التآكل. عند ترك التيار لسطح المعدن ليدخل في الأليكتوليت، بأنه توجد علاقة محددة بين كمية التيار الخارج وكمية الفقد في المعدن. في حالة قيسون المعدن حيث يترك التيار ليدخل الأليكتروليت (الأرض)، كل أمبير من التيار التارك ينتج عنه فقط - 20 رطل من الصلب في فترة زمنية لمدة عام. المثال الموضح هو مبسط جداً، حيث يوجد عديد من المناطق الأنودية في قيسون معين. كذلك، فإن الفاصل 25 قدم للسكاكين في الأداة لا يوفر احتمال وجود خلايا تأكل صغيرة، ويبين فقط تلك المساحات الأنودية الممتدة على فترات أطول من الماسورة. ولكن الشكل العام لفولت التسجيل للقيسون يوفر لمهندس التآكل صورة عامة هامة جداً عما يحدث على خارج القيسون.

### تفتيش المعدة السطحية : (Inspection of Surface Equipment) :

#### التفتيش فوق سمعى : (Ultrasonic)

تفنيات التفتيش فوق سمعى يستخدم الطاقة فوق سمعية لقياس سمك معدن الغرض وتحديد العيوب والشقوق في المعدن. الموجات فوق صوتية هي ذات نفس طبيعة الموجات الصوتية العادية. تتوقف سرعة الموجات فوق الصوتية على خواص المجال ولكن تكون عادة مثل الموجات الصوتية في المجال.

الموجات فوق الصوتية يتم توليدها بمحولات الطاقة (Transducers) التى تنقل الإشارة الكهربائية ذات التردد العالى المستخدمة إلى طاقة ميكانيكية عالية التردد. محولات



الضغط الإجهاد (Piezoelectric Transducers) من الكوارتز، مواد السيراميك أو البلورية المخلقة تستخدم غالباً في العمل فوق صوتي. مواد الإجهاد أو الضغط الصوتي قادرة على التمدد والانكماش عند وضعها تحت تأثير تغير المجال الكهربائي، وبالعكس فإنها تنتج جهد كهربائي عند وضعها تحت إجهاد ميكانيكي. لذلك، فإن مثل هذه المحولات يمكن أن تستخدم في كل من خلق والكشف عن الطاقة فوق السمعية.

في التفتيش فوق سمعي يتم توليد موجة صوتية بواسطة محول والتي تنقل خلال السائل إلى العينة. الموجات فوق سمعية ستسير خلال العينة حتى تقابل السطح الداخلي أو عدم الاستمرار، أو عادة السطح المعاكس للقطعة. هذه الموجة السمعية المنعكسة تستقبل وتتحول إلى نبضة كهربائية بواسطة المحول. يتم إسقاط النبضة على أنبوبة التحليل لشعاع الكاثود (Cathode Ray Tube Screen) كإزاحة رأسية من خط الصفر على الشبكة الأرضية (Graticule). الفترة ما بين النبض الأولى وأول إنعكاس يتناسب مع مسافة رحلة الموجة الصوتية. هذه المسافة تساوي ضعف سمك العينة أو ضعف المسافة إلى عدم الاستمرار (Discontinuity). الموجات الصوتية المنعكسة تتحول إلى نبضات كهربائية على أنبوب تحليل شعاع الكاثود، مكونة نقاط (Pips). المسافة بين الإنعكاسات تعبر على سمك معلوم وتقرأ مباشرة من الشبكة الخطية (Graticule) شكل (3/12). المسافة بين الانعكاسات يتم معايرتها على الشبكة الخطية بواسطة كتل درجات السلم شكل (3/13) لسمك مصنع. بمجرد قياس السمك المعلوم وضبطه على المصفاة (مصفاة التحليل Screen-) يمكن بعد ذلك بدء القياس على العينة، بقراءة السمك مباشرة على الشبكة الخطية. يوجد كذلك قراءة رقمية مباشرة.

التقنية التي وصفت تعرف بتقنية نبضة الصدى (Pulse Echo) وهي تستخدم عادة لقياس كل من السمك والكشف عن العيوب. توجد وحدات محمولة ذات الوزن الخفيف للاستخدام في الموقع. صورة نموذجية أخذت من الكاشف فوق سمعي موضحة في الشكل (3/14) حيث الفرق في المسافات  $d_1$  ,  $d_2$  يعكس مكان العيب. وجود سريان الصدى على مسافة  $d_1$  يمكن كذلك أن يمثل شرخ في المعدن المختبر. القياسات على معدة جديدة يتم عملها مع تركيبها وتصنف كمعيار. أثناء حياة قطعة المعدة، تعمل

القراءات عند نفس الأماكن تماماً كما كانت تستخدم للحصول على قراءات أساسية. مقارنة القراءات توفر مقياس لدرجة التقدم للتآكل.

حدود استخدام هذه الطريقة:

1. الأسطح يجب أن تكون خالية من الترسبات القشرية (Scales) أو أى مادة غريبة مثل السوائل (باستثناء الطبقة الرقيقة من (Couplant) اللازمة لنقل الإشارة.
2. التوجيه الصحيح لمجس الكاشف يكون مطلوباً للحصول على الاستعادة.
3. تفسير النتائج يحتاج إلى عمالة مدربة.

التفتيش الإلكتروني لخطوط المواسير :

### (Electronic Pipeline Inspection):

أدوات التفتيش المتاحة التى يمكن ضخها خلال خط المواسير وتعطى تسجيل مستمر لحالة جدار الماسورة. جهاز (Linalog) يستخدم تقنية جهاز تسرب الفيض الكهرومغناطيسى (Electromagnetic Flux Leakage) للكشف عن كلاً من العيوب والتلفيات الداخلية والخارجية. عادة يسمى الخنزير الإلكتروني (Electronic Pig) جهاز ليتالوج وحدة كاملة مستقلة. له ثلاث مقاطع طاقة، محول، مسجل. أدوات المواسير ذات القطر الصغير أقل من 18 بوصة تحتاج إلى مقاطع أكثر زيادة عن الثلاث الأساسية بما يمكن الأداة من المرور خلال أقطار المنحنيات المعقولة فى خط الأنابيب. كل مقطع متصل بالمقطع المجاور بالوصلة العامة أو الجامعة (Universal Joint) والتى توفر المرونة المطلوبة. الشكل (3/15) يبين الأجزاء الثلاثة لمقاطع الجهاز.

جزء الطاقة للجهاز الأساسى، يعمل كمقطع للتشغيل لدفع المكشطة (Pig) خلال الخط وله زحافات على شكل فنجال (Scraper Cups) التى تمرکز جزء البطارية فى خط المواسير وتعمل للاتصاق بجدار الماسورة. مقطع المحول تستخدم تسرب الفيض الكهرومغناطيسى للكشف عن العيوب وتوفير إشارات لجزء التسجيل. جزء التسجيل يحتوى المسجلات الأليكترونية وشرائط التسجيل لتخزين المعلومات من جزء المحول.

نظراً لأن المطلوب هو توقيع كل 360 درجة لجدار جسم الماسورة. فإن بعض المواسير تتطلب معلومات بارزة بالأرقام محسوبة ومسجلة (Readout) على 28 من خطوط الرسم (Traces). بالنسبة للمكشطة الصغيرة (Pig).

عادة تظهر علامات التآكل على السجل في شكل مجموعات كدوائر الشكل (3/16). العلامات نادراً ما تظهر على كل القنوات. هذا المظهر يبين التآكل حول كل محيط الماسورة.

كذلك يظهر على التسجيل مسار التعليم (Marker Channel) يستخدم التسجيل حزام للحامات، المحابس، الوصلات، علامة المغناطيس. مسار التعليم يوفر معلومات مساعدة نحو التحديد الدقيق للمكان حيث العيب أو التلف. معلومات إضافية يمكن توفيرها بشكل الحظ (Line Trace) الذي يبين التغيرات في سرعة الجهاز.

نظراً لأن المكشطة لديها الاستعداد للدوران الخفيف مع تقدمها خلال الخط، فإن حيود المسار يبين الوضع وفقاً للساعة المحول. لذا، فإن قراءة التسجيل يمكن أن تحدد ربع الدائرة (Quadrant) التي يوجد عليها التآكل.

#### التصوير الإشعاعي : (Radiography) :

في إنتاج البترول، يستخدم التصوير الإشعاعي أساساً للتفتيش على اللحامات والأسطح الداخلية للمواسير ومعدات الإنتاج.

العملية عبارة عن تمرير أشعة إكس أو أشعة جاما من المصدر خلال الغرض المطلوب تفتيشه ثم على قطعة من الفيلم الفوتوغرافي. عند التحميض يسمى الفيلم الصورة بالأشعة (Radiograph).

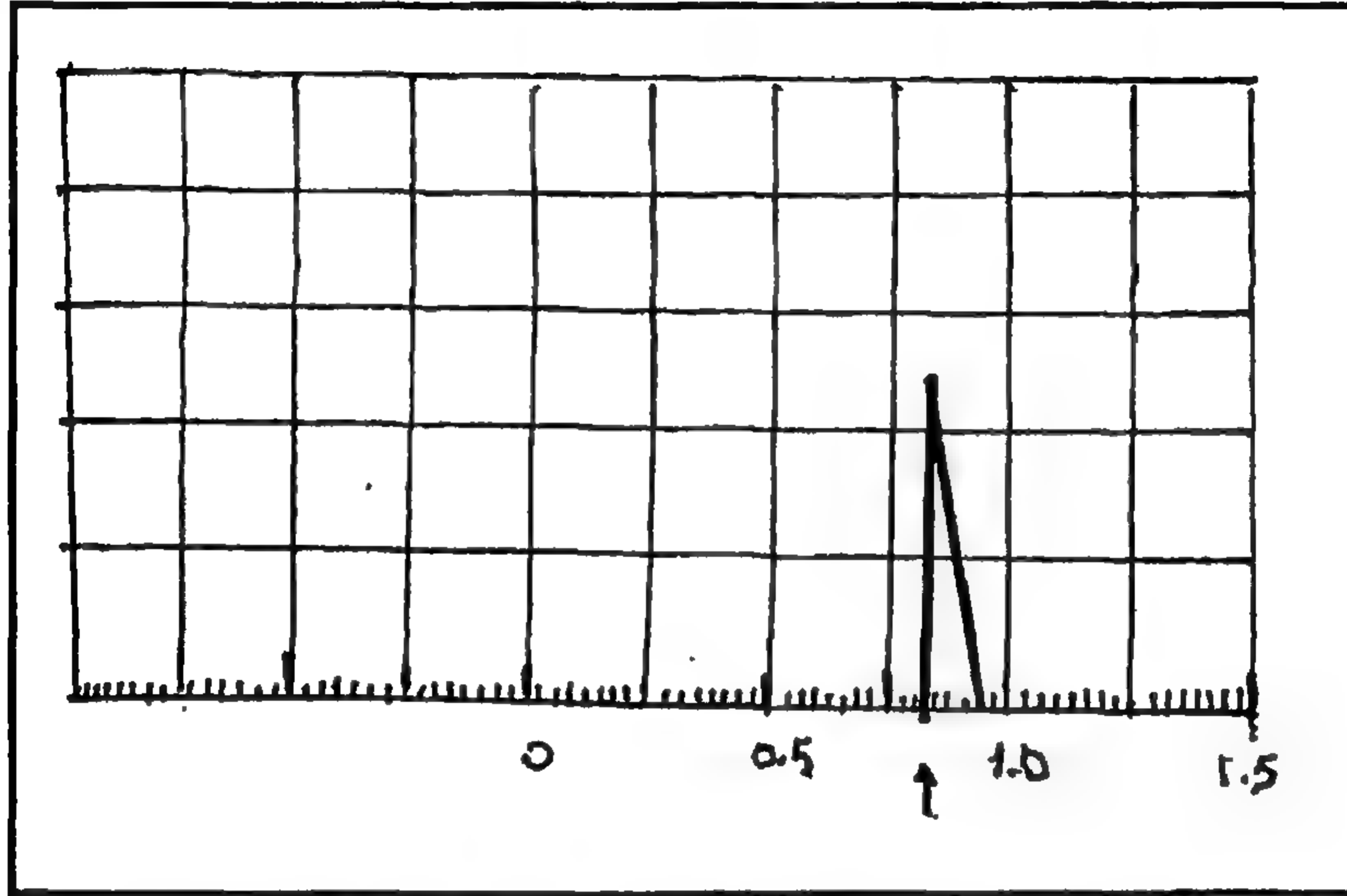
يمكن استخدام التصوير الشعاعي لتعيين سمك جدار الماسورة وكذلك للكشف عن الثقوب أو أي تلفيات أخرى بفعل التآكل. عيوب المعدن مثل المسامية أو التطابق يمكن كشفها وكذلك يمكن تحديد نوعية اللحام.

#### التفتيش بالفحص المباشر : (Visual Inspection) :

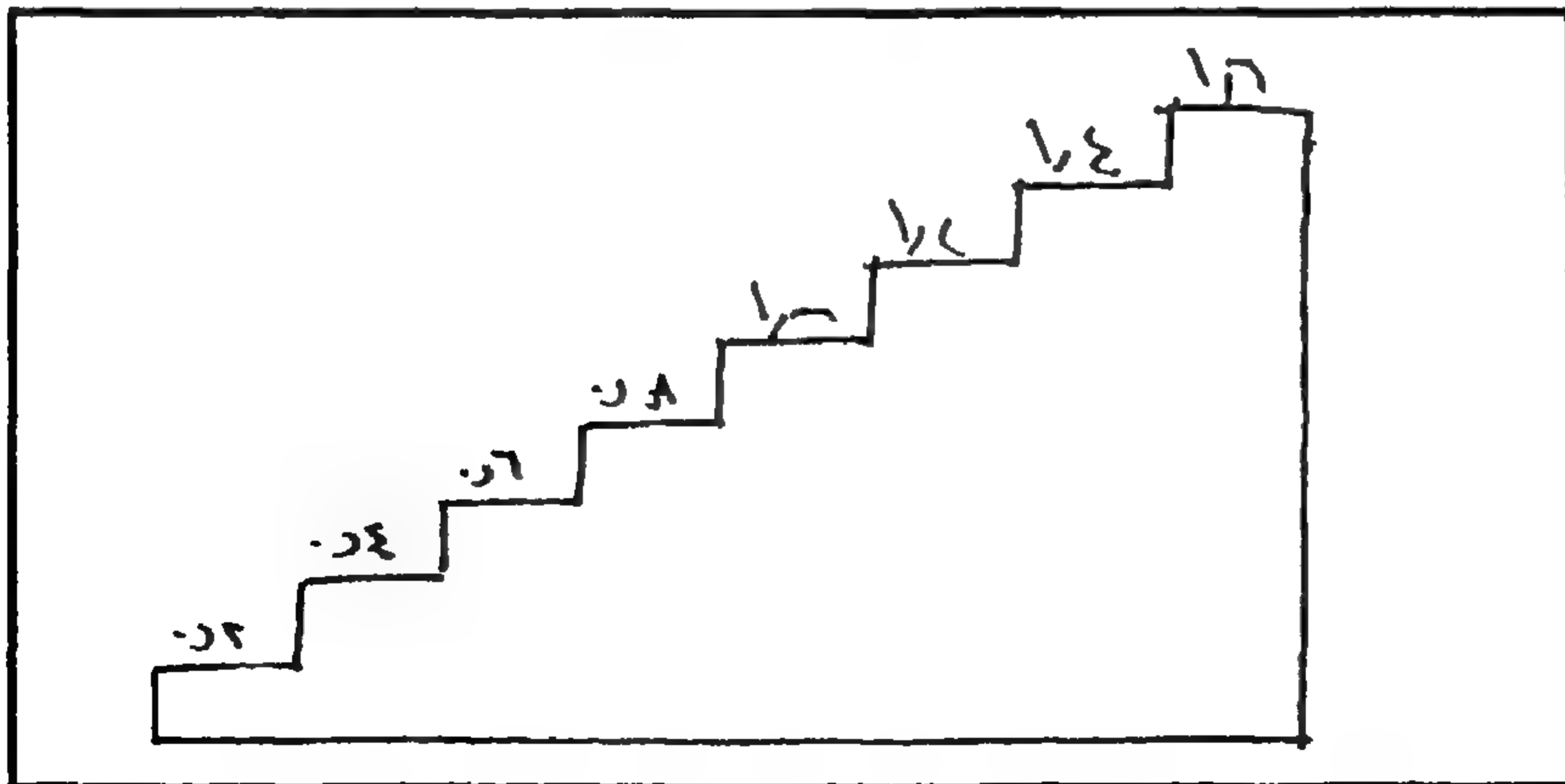
من بين كل الطرق المتاحة للكشف عن التآكل، فإن الفحص المباشر هو الذي يعتمد عليه. قد يكون من الصعب تنفيذه في معظم الحالات وكذلك استحالة في حالات أخرى.

ولكن يجب استخدام كل فرصة تتاح للفحص المباشر، كمثال في حالة توقف الخط، أو الطلمبة أو عند تنظيف الخزان. استخدام آلة تصوير، دون الملاحظات، مع قياس أى شيء له علاقة وعمل رسم تخطيطي.

وأخيراً فإنه ينصح بعدم الاعتماد على طريقة واحدة في رصد التآكل. حيث يلزم استخدام عدة تقنيات في وقت واحد كلما أمكن ذلك مع الاحتفاظ بتسجيل كامل للبيانات.

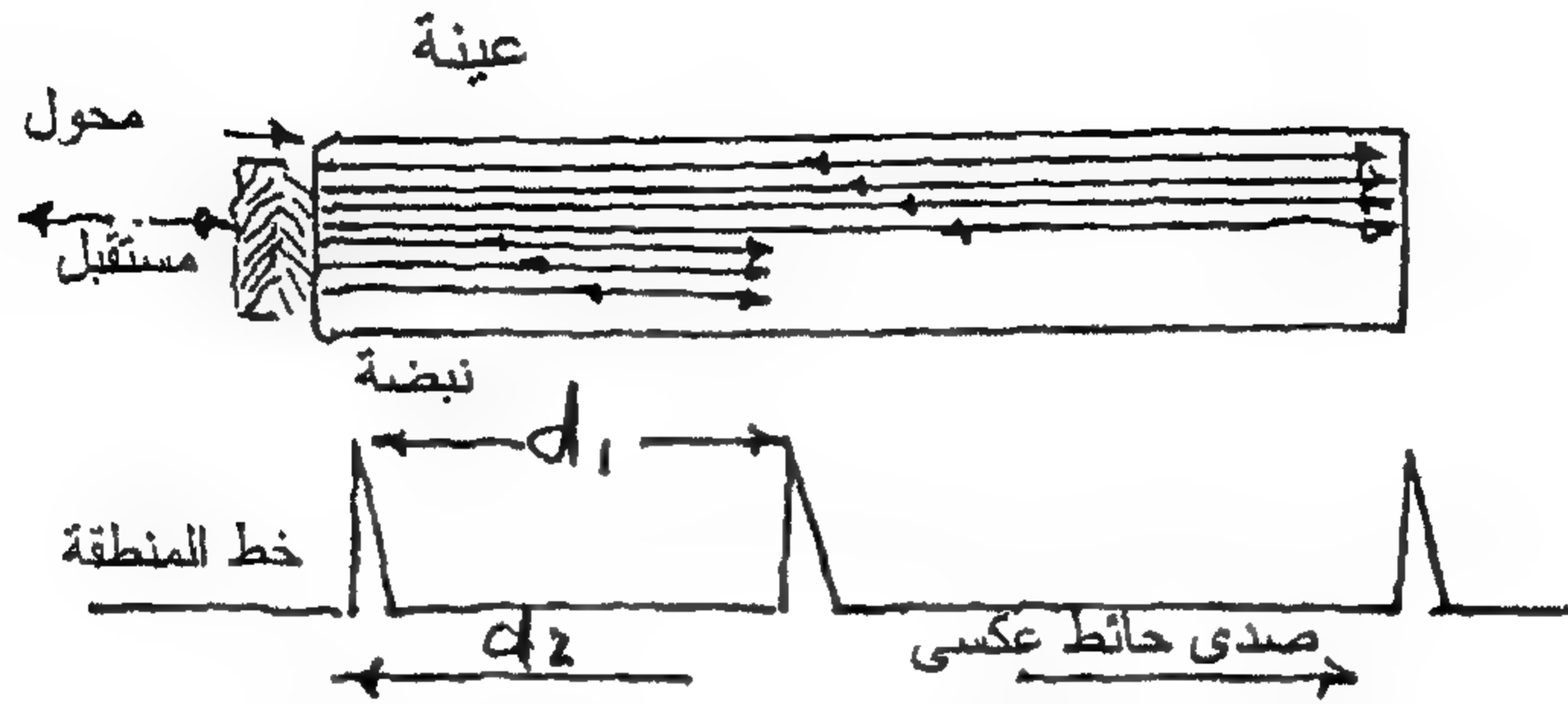


شكل (3/12) قراءة مقياس العينة لانعكاس النبض فوق الصوتي.  
هذه القراءة 0.8 بوصة

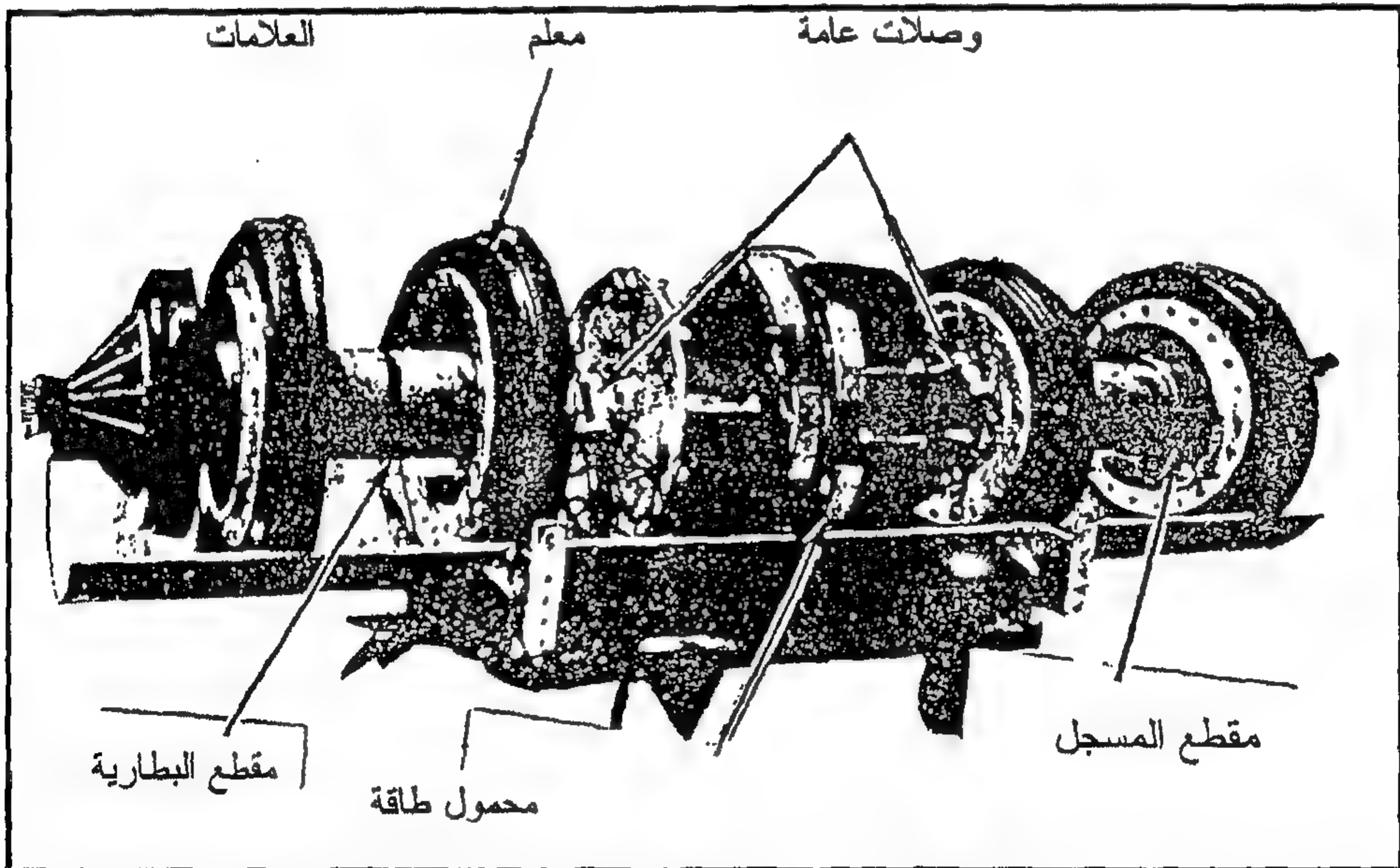


شكل (3/13) مخطط كتلة الاختبار لمعايرة مقياس الانعكاس فوق الصوتي





شكل (3/14) مخطط للنمط الصوتي للاختراق والانعكاس  
وشكل الصورة التي تمثل الانعكاس

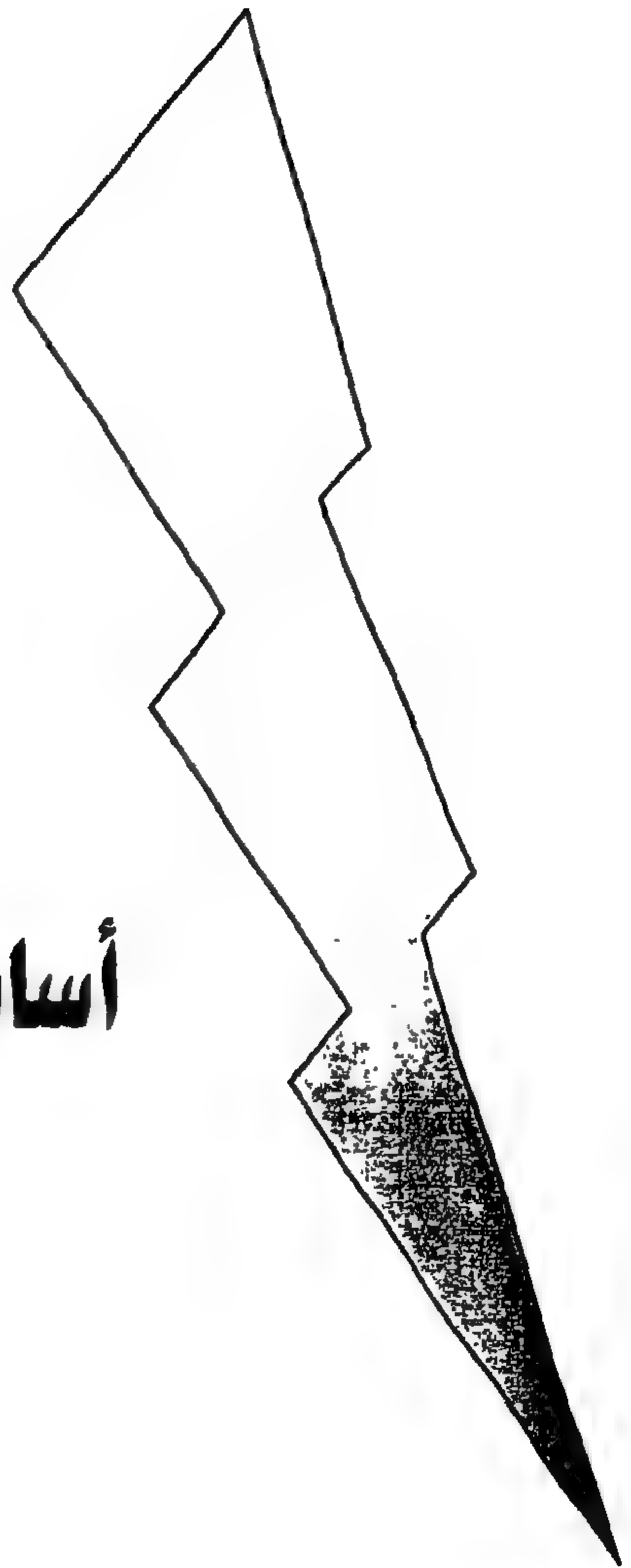


شكل (3/15) أداة الكشف عن التآكل لخطوط المواسير  
في مكانها (Linalog Tool)



## **الفصل الرابع**

### **أساسيات مثبتات التآكل**







## مقدمة :

## 1- التعريف بمثبت التآكل :

المثبت هي المادة التي تؤخر أو تبطئ التفاعل الكيماوى. لذلك، فإن مثبت التآكل هو المادة التي عند إضافتها إلى مجال معين، تقلل من معدل عدوانية هذا المجال على المعدن. مثبتات التآكل عادة تضاف بكميات صغيرة إلى الأحماض، مياه التبريد، البخار ومجالات أخرى إما باستمرار أو على دفعات متقطعة لمنع حدوث التآكل الحاد.

يلزم التعرف على آلية التثبيت ذلك لأن التثبيت يصاحبه بواحد أو أكثر من الآليات المتعددة. بعض المثبتات تؤخر التآكل بالادمصاص لتكون طبقة رقيقة لا ترى ذات سمك من عدة جزئيات قليلة، أنواع أخرى تكون رواسب كبيرة مرئية التي تغطي المعدن وتحميه من التآكل. آلية أخرى تتكون من العمل على تآكل المعدن بالطريقة حيث الجمع بين الادمصاص ومكونات التآكل تكون طبقة مناعة. ونحن نضيف إلى التعريف تلك المواد التي عندما تضاف إلى مجال معين تؤخر التآكل ولكنها لا تتفاعل مباشرة مع سطح المعدن. هذا النوع من المثبتات يوجد له مرغوبة في المجال الملاصق للمعدن لتكون رواسب حماية أو أن تزيل مكون عدوانى من المجال.

## تقديم :

استخدام المثبتات زاد ليكون من أحد أهم الطرق لمقاومة التآكل ليتم استخدامها بكفاءة، فإن مهندس التآكل يجب أن يكون قادراً على تلك المشكلة التي يمكن حلها باستخدام مثبتات التآكل ، كذلك فإنه يجب أن يراعى الناحية الاقتصادية المتعلقة بهذا الاستخدام ، سواء كان الفقد بسبب التآكل يزيد أو لا يزيد عن تكلفة المثبت وصيانة وتشغيل نظام الحقن. كذلك فإنه يجب أن يراعى مدى توافق المثبتات في تلك العملية ذلك لتجنب التأثيرات الضارة مثل حدوث الرغاوى ، خفض طاقة العامل المساعد ، تحلل مواد أخرى ، الفقد في الانتقال الحرارى ... الخ أخيراً فإنه يجب أن يستخدم المثبت تحت الظروف المحققة لأفضل تأثير.

سيتم مناقشة مثبتات التآكل من خلال أربع نقاط وهي:

- التأثير على عملية التآكل.
- تفاعلاتها مع مختلف المجالات العدوانية.
- خواص المثبطات نفسها.
- احتمال تأثيرات المثبطات على العمليات الانتاجية.

### 1- مثبطات التآكل والاستقطاب الكهروكيميائي :

#### Corrosion Inhibitors and electrochemical Polarization

مخططات الاستقطاب: سيتم تناول العلاقة بين مثبطات التآكل بالنسبة لاستقطاب الأنود والكاثود.

من بين المكونات الأربع لخلية التآكل (الأنود ، الكاثود ، الإليكتروليت ، وموصل الإليكترونات) ، ثلاث منهم قد تتأثر بمثبط التآكل لتأخير حدوث التآكل ، حيث يمكن أن يسبب المثبط الآتي:

زيادة الاستقطاب للأنود (تثبيط الأنود).

زيادة الاستقطاب للكاثود (تثبيط الكاثود).

زيادة المقاومة الكهربائية للدائرة بتكوين طبقة ترسيب كثيفة على سطح المعدن. طبيعي أن المثبطات المكونة لطبقة سميكة تعيق تسرب مانع الاستقطاب مثل الأكسجين ووصوله إلى سطح المعدن وبالتالي فإنه يمكن أن يقوم بدور مزدوج . مقاومة الموصل الكهربى بين الأنودات والكاثودات والتي هى عادة مقاومة المعدن نفسه تكون منخفضة جداً ولا تتغير بمثبطات التآكل.

تأثير مثبط التآكل على خلية التآكل تتحدد باستقطاب المعدن المتآكل فى إلكتروليت مناسب واستخدام كميات مختلفة من التيار من مصدر خارجى مثل البطارية. جهاز معملى بسيط لقياس الاستقطاب موضح فى الشكل (4/1). معدل تفاعل الأنودات يمكن زيادته بعمل القطب أكثر سلباً. يتم قياس القوة التى يجب استخدامها لتقوية تفاعلات الأنود أو الكاثود باستخدام الفولت بين القطب المستخدم وقطب قياسى. لا يتم تغذية القطب القياسى بأى تيار لذلك فإنه يستخدم كمعيار الذى يقابله قياس جهد القطب المستخدم. فى تجربة لمقارنة تأثيرات عدة مثبطات على استقطاع الصلب فى مجال عدوانى مثل الحامض

المخفف، ومادة خاملة مثل الكربون أو البلاتين كقطب إضافي. عندئذ يتم زيادة التيار على مراحل بواسطة مقاومة متغيرة وقراءة الفولت عند كل مرحلة. عند توقيع التيار مقابل الفولت في وجود وعدم وجود المثبط فتظهر تأثيرات المثبط على خواص الاستقطاب للصلب. نموذج للمنحنى موضح في الشكل (4/3) عند عدم استخدام التغذية بالتيار وأن القطب المستخدم وصل إلى حالة الاستقرار عندئذ فإن الجهد المقاس هو جهد التآكل ( $E_c$ ) لمادة القطب. جهد التآكل هو الجهد المختلط (Mixed Potential) الذي عندما يحدث الاستقطاب لكل من الأنودات والكاثودات يتفاعل التآكل. وهذا كذلك علامة لتأثيرات المثبطات كما هو موضح في البنود الآتية :

#### التحكم الأنودى : (Anodic Control) :

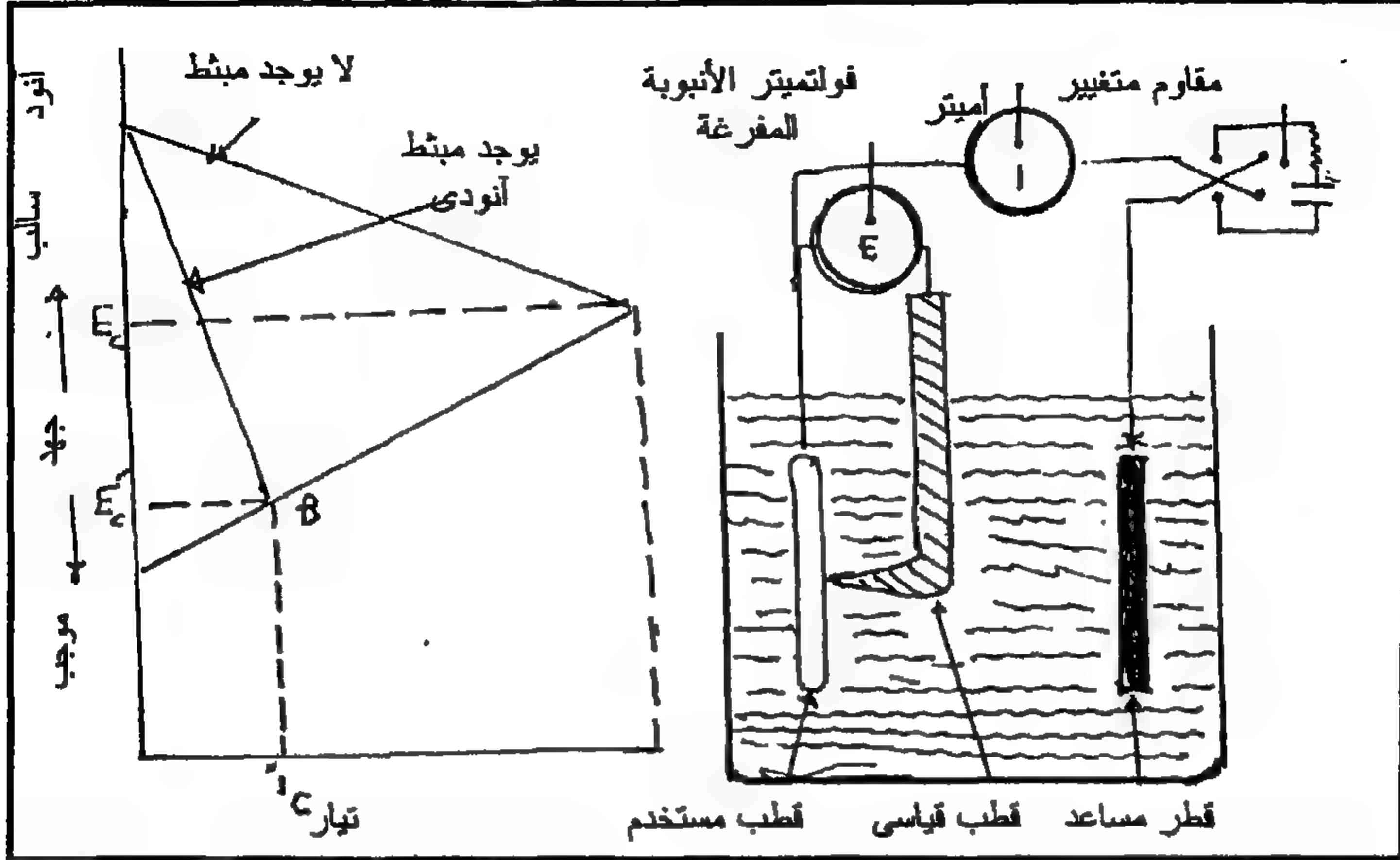
التثبيت الأنودى موضح في الشكل (4/2) والذي يبين زيادة استقطاب الأنود في وجود مثبط أنودى. إضافة المثبت تسبب تقاطع المنحنى الأنودى مع المنحنى الكاثودى عند النقطة (B) بدلاً من النقطة (A) وجهد التآكل ينقل في اتجاه الكاثود من  $E_c$  إلى  $E_c'$ .

منحنيات الاستقطاب هو فقط توضيحية، في الواقع كل المثبطات تقوم بكل من التأثيرات الأنودية والكاثودية مع واحد أو الآخر السائد. التحكم الأنودى كما هو موضح في الشكل (4/2) نادراً ما يحدث. النوع الأكثر وجوداً للتحكم الأنودى موضح بالمناعة (Passivation) والتي سيتم تناولها.

عند زيادة استقطاب معدن يتآكل باستخدام تيار من مصدر خارجي. فإن منحنى الاستقطاب يبدأ من النقطة (A)، (B) في عينة ووجود المثبط، بالتالى كما هو موضح في الشكل (4/3).

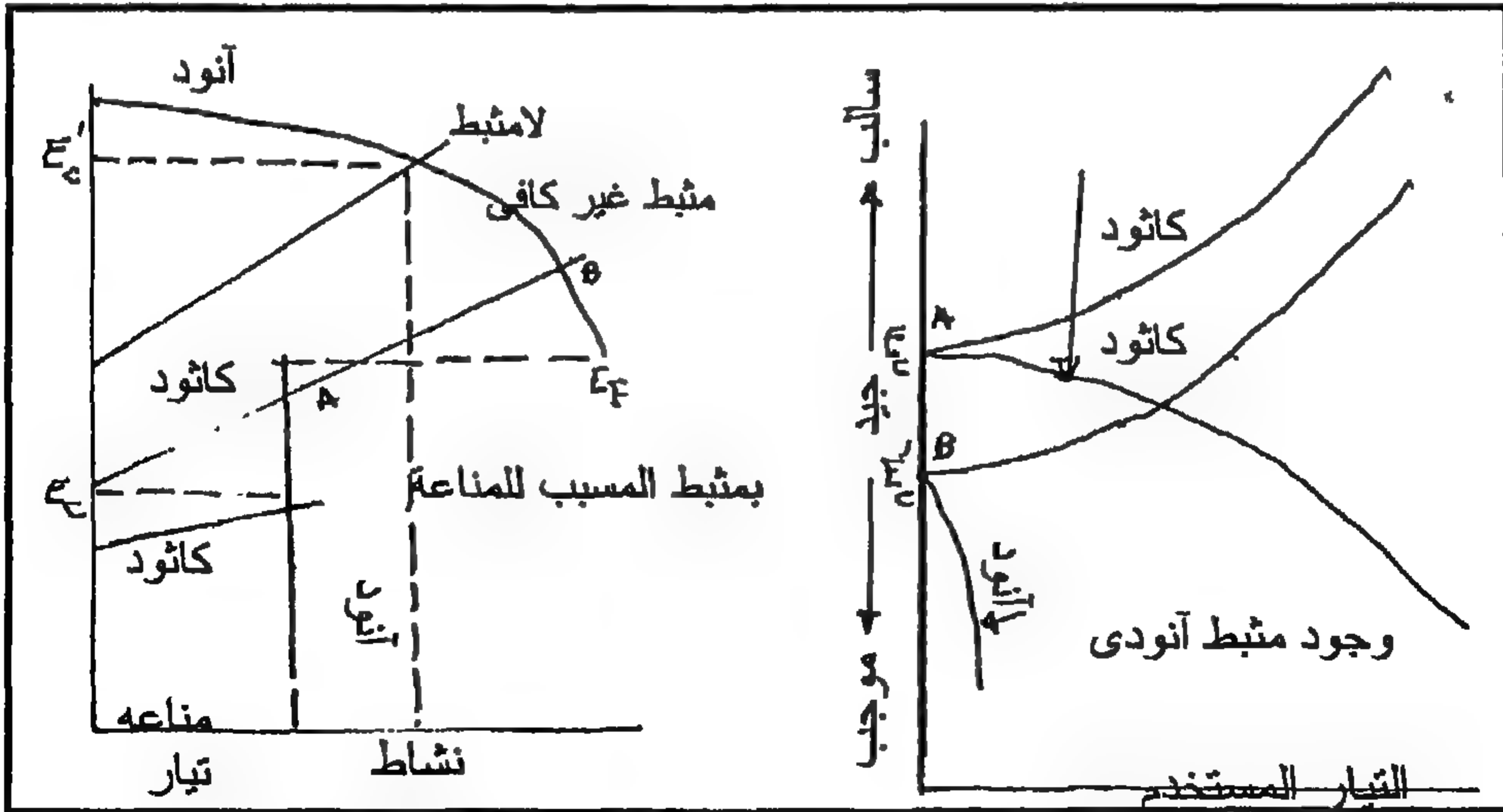
المثبطات الأنودية المسببة لانتقال كبير في جهد التآكل تسمى مثبطات المناعة (Passivation inhibitors). وهذه تسمى كذلك المثبطات الخطرة ذلك لأنه فى حالة استخدامها بتركيزات غير كافية فإنها تسبب التآكل الثقيل وأحياناً زيادة فى معدل التآكل. عند استخدام الجرعة المناسبة فإن مثبطات المناعة تستخدم أحياناً لأنها مؤثرة جداً فى كميات طافية. عوالم المناعة المؤكسدة مثل كرومات الصوديوم ونترات الصوديوم لا تحتاج إلى الأكسجين لتكون مؤثرة حيث أنها تختزل بسهولة. وهى مانع استقطاب جيد للكاثود. فهى تسبب المناعة بإسراع تفاعل التآكل إلى حد أن الأنودات تستقطب إلى جهد المناعة الموضح بالرمز  $E_f$  شكل (4/4). عندئذ منحنى الكاثود الذى لم يستقطب يتقاطع

مع منحني الأنود في منطقة المناعة عند  $E_c$ . انمصاص المثبط على المناطق الأنودية يقوم بدور في العملية كذلك لأنه يقلل التيار (أو معدل التآكل اللازم للأنود للوصول إلى جهد المناعة الحرج  $E_f$ ).



شكل (4/1) جهاز معمل لقياسات الاستقطاب

شكل (4/2) المثبط الأنودي على الجهد مع تغيير تيار التآكل من O إلى C كشكل من التحكم الأنودي



شكل (4/3) تأثير المثبطات الأنودية على منحنيات الاستقطاب الأنودية

شكل (4/4) تأثير مثبطات المناعة على تآكل الحديد



يلاحظ أنه عند استخدام كمية غير كافية من المثبط فإن المنحنى الكاثودى سيتقاطع مع المنحنى الأنودى فى منطقة نشطة أوفى كل من المناطق النشطة وذات لامناعة الموضحة بـ (A) ، (B) فى الشكل (4/4). فى الحالة الأولى يستمر التآكل بمعدل عالى، فى الحالة التالية ، تكون المناعة غير مستقرة وجهد التآكل سوف يتذبذب ما بين (A) ، (B) عادة بما ينتج عنه تآكل تقبى للمعدن. قياس جهد التآكل عند استخدام مواد المناعة (Passivators) طريقة جيدة لتعيين ما إذا كان المثبط يقوم بدوره لأن الانتقال الموجب الكبير فى الجهد سوف يحدث إذا حدثت مناعة للمعدن. المناعة بالمثبطات تكون أكثر صعوبة عند درجة الحرارة المرتفعة، التركيزات العالية للأملاح ، الرقم الهيدروجينى المنخفض ، التركيز المنخفض للأكسجين المذاب.

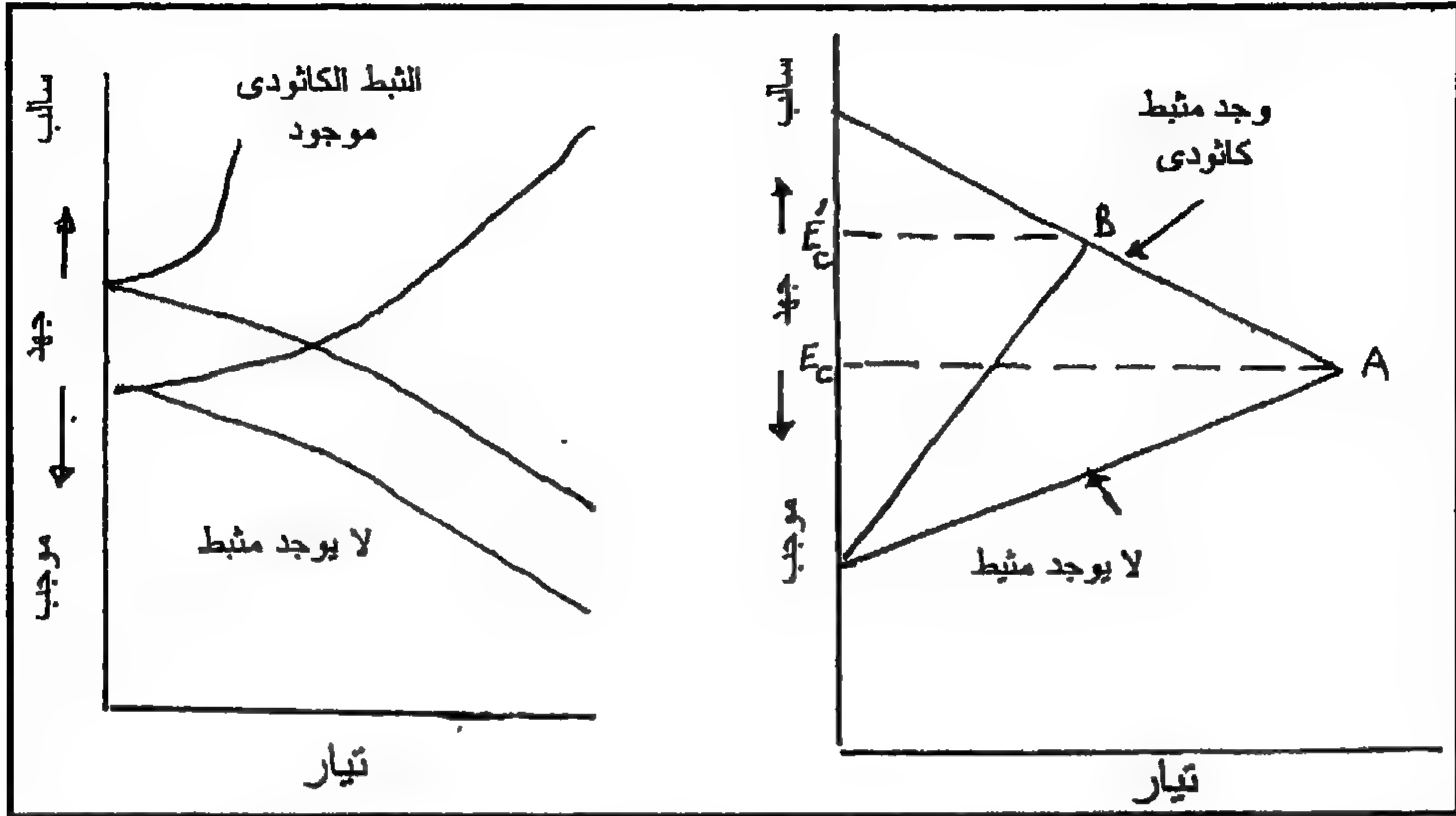
عوامل المناعة الغير مؤكسدة مثل بنزوات الصوديوم، البولى فوسفيت، الصوديوم سيناميت تحتاج إلى وجود الأكسجين لتسبب المناعة - فهى لا تثبط التآكل فى عدم وجود الأكسجين. يبدو أن أدائها يتم بتثبيط الامصاص الأكسجين على الأنودات ، وبذلك يحدث الاستقطاب فى منطقة المناعة.

#### التحكم الكاثودى : (Cathodic Control) :

المثبطات الكاثودية أما أن تبطئ تفاعل الكاثود نفسه أو أنها تترسب على المناطق الكاثودية لزيادة مقاومة الدائرة وإعاقة تسرب العناصر المختزلة نحو الكاثودات. تأثيرات المثبطات الكاثودية على الاستقطاب الكاثودى موضح فى الشكل (4/5). فى هذه الحالة حيث استقطاب الأنود لا يتأثر، فإن جهد التآكل ينتقل إلى قيم موجبة أكثر من  $E_c$  إلى  $E_c$  استقطاب المعدن الذى يتآكل بمصدر خارجى من (A) إلى (B) فى الشكل (4/5) سوف ينتج منحنيات موضحة فى الشكل (4/6).

عندما يكون التفاعل الكاثودى هو اختزال أيونات الهيدروجين إلى غاز الهيدروجين والذى ينصرف من السطح. بعض المثبطات الكاثودية تتداخل مع التفاعلات، حيث تعمل على زيادة صعوبة صرف الهيدروجين الغاز حيث يقال أنها تزيد من زيادة فولت الهيدروجين (Hydrogen Over Voltage) . إذا كان تفاعل كاثود آخر ممكناً مثل اختزال الأكسجين ، عندئذ فإن المثبطات التى تزيد من زيادة فولت الهيدروجين تكون أقل تأثيراً ، لذلك فإنها تستخدم عادة فى الأحماض

أوفى النظم حيث لا يوجد أكسجين - مركبات الزرنيخ والأنتيمون هي مثال لهذا النوع من المثبطات.



شكل (4/5) تأثير المثبط الكاثودى على الاستقطاب شكل (4/6) منحني الاستقطاب فى وجود مثبط كاثودى

مثبطات كاثودية أخرى تستخدم زيادة القلوية عند المناطق الكاثودية لترسيب مركبات غير مذابة على سطح المعدن. التفاعل الكاثودى ، أيون الهيدروجين و/أو اختزال الأكسجين، يسبب المجال الملاصق للكاثودات مباشرة ليصبح قلوى، لذلك فإن أيونات مثل الكالسيوم، الزنك أو المغنسيوم يمكن أن ترسب كأكاسيد مكونة طبقة حماية على المعدن. كثيراً من المياه الطبيعية ذات قدرة تثبيط طبيعية بسبب ترسيبات القشور (Scales) على المعادن بترسيب الأيونات الموجودة طبيعياً.

#### التحكم الأومى (لفرق الجهد) : (Ohmic Control)

المثبطات التى تزيد المقاومة الأومية (Ohmic Resistance) للدائرة الأليكتروليتيه. نظراً لأنه من الصعب عملياً زيادة مقاومة كل الأليكتروليت، فإن زيادة المقاومة تتم عملياً بتكوين طبقة بسمك ميكرونات على سطح المعدن. فى حالة ترسيب الطبقة على المناطق الأنودية فإن جهد التآكل ينتقل إلى القيم الموجبة أكثر. وإذا ترسبت على المناطق الكاثودية

، فإن الانتقال يكون بقيم سلبية أكثر ، وإذا عملت الطبقة على تغطية كلاً من المناطق الأنودية والكاثودية سيكون هناك انتقال ضعيف فقط في أي من الاتجاهين.

### التثبيط والبيئة الملاصقة : (Inhibition and Environment) :

**مقدمة :** المجالات للمائية هي أكثر المجالات عدوانية والتي يستخدم لها مثبطات التآكل: الماء مذيب قوى قادر على حمل أيونات مختلفة كثيرة في نفس الوقت، لذلك فإن متطلبات مثبطات التآكل قد تتغير كثيراً طبقاً لكمية ونوع المواد المذابة الموجودة. لعدم وجود مثبط عالمي لنظم المياه، فإن المثبط الذى قد يكون مناسب في أحد الأنظمة قد يكون غير مؤثر بل قد يكون ضار في الآخر. العوامل الرئيسية التى يجب مراعاتها في تطبيقات مثبطات التآكل في النظم المائية هي : تركيز الأملاح ، الرقم الهيدروجيني ، تركيز الأكسجين المذاب وتركيز المواد التى تتداخل.

\* **تأثيرات مختلف المواد المذابة:** الماء الخالى من الأملاح يكون غير عدوانى نسبياً بالنسبة للصلب بسبب المقاومة العالية وانخفاض تركيز أيون الهيدروجين. ولكن، عند التصاق المياه الخالية من الأملاح مع الهواء الجوى فإنه سوف يمتص ثانى أكسيد الكربون مكوناً حامض الكربونيك والذى يقلل من مقاومته حيث يحدث تآكل للصلب، التفاعل الكاثودى كونه أساساً اختزال الأكسجين المذاب في هذه الحالة يكون أقل تركيز من المثبطات مثل كرومات الصوديوم ، نيتريت الصوديوم ، البولى فوسفيت (Polyphosphates) بنزوات الصوديوم أو البوراكس كافي جداً. الصلب تحدث له مناعة بسهولة في المياه المقطرة أو المياه الخالية من الأملاح ذلك لأن الرقم الهيدروجيني يكون متعادلاً ، ولا توجد أيونات مذابة تتداخل مع تكون طبقة المناعة.

المياه الصناعية والمنزلية تحتوى على مواد مذابة التى تؤثر على عدوانيتها ومتطلبات مثبط التآكل تتوقف على طبيعة هذه المواد. أكثر المواد المذابة عادة في تلك المياه وتأثيراتها على مثبطات التآكل هي الآتى:

**الأكسجين:** في المياه المتعادلة الأكسجين يسبب التآكل لذلك، في حالة وجوده أقل من 0.1 جزء في المليون، فإنه يمكن التحكم في التآكل بنسبة كافية في بعض النظم مثل، الغلايات وإمدادات المياه الساخنة - يمكن استخدام الأكسجين في زيادة مناعة الصلب بإضافة مثبط مسبب للمناعة (Passivating Inhibitor). المثبطات العضوية نادراً ما

تكون مؤثرة ضد العدوانية بسبب الأكسجين عدا في حالة احتوائها مجموعة مناعة (Passivating Groups) مثل البنزويت أو النيتريت.

#### \* أيون الكلوريد $Cl^-$ :

من الصعب توفير المناعة للصلب في وجود أيون الكلور، لذلك فإنه يلزم توفير تركيزات عالية من مثبط التآكل في حالة وجود الكلوريدات. يجب استخدام المثبطات الغير محققة المناعة (Non passivating Inhibitors) بتركيزات عالية كذلك لأن أيونات الكلوريد تمتص بقوة بواسطة الصلب.

#### \* الكبريتات (Sulphates) $(SO_4^{2-})$ :

تأثير الكبريتات على المناعة يشبه لذلك للكلوريد ولكن بدرجة أقل. الكبريتات أو الكلوريدات يجب أن يسمح بتراكمها في النظام بالتبخير ذلك لأنه يمكن حدوث عدم المناعة.

#### \* البيكربونات $(HCO_3^-)$ :

يمكن استخدام البيكربونات في المياه العسر لتوفير التثبيط الطبيعي بتكوين رواسب. في المياه اليسر يجب استخدام مثبطات التآكل في حالة وجود زائد من ثانى أكسيد الكربون ذلك لما تنتج من حالة حموضة.

#### \* الكبريتيدات (Sulphides) $(S^{2-})$ :

الكبريتيدات ترسب كثيراً من الأيونات المعدنية ، لذلك فإن المثبطات التى تحتوى على الزنك (كمثال) لا يمكن استخدامها. المثبطات المؤكسدة تختزل بالكبريتيد مكونة الكبريت الحر. وهى مؤثرة فقط في حالة استخدام زيادة عن الكمية المطلوبة للتفاعل مع الكبريتيد والراسب الهلامى من الكبريت الحر يمكن تحمله.

#### \* كاتأيونات المعدن :

أيونات الصوديوم  $(Na^+)$  والبوتاسيوم  $(K^+)$  ليس لها تأثيرات معينة عن المثبطات، أيونات الكالسيوم  $(Ca^{+2})$  والمغنسيوم  $(Mg^{+2})$  يمكن استخدامها لتكوين راسب حماية



ولكن عند التركيزات العالية فإنها تتداخل مع التنشيط بترسيب الرواسب الغير محققة للحماية وكذلك ترسيب المثبطات مثل الفوسفات ( $PO_4^{3-}$ )، السيليكايت ( $SiO_2^{-2}$ ).

**الحامض ( $H^+$ ) :** أيون الهيدروجين يزيد معدلات التآكل كما يزيد من صعوبة توفير المناعة للصلب. تستخدم المناعة في حامض الكبريتيك ( $H_2SO_4$ ) وحامض الفوسفوريك ( $H_3PO_4$ ) ولكن ليست في حامض الهيدروكلوريك ( $HCl$ ). المواد العضوية الغير مسببة للمناعة أو المثبطات الكاثودية مثل أرزينات الصوديوم (Sodium Arsenate) بفضل استخدامها في أحماض معالجة الأسطح المعدنية (Pickling Acids) لتجنب المخاطر الناتجة عن إزالة المناعة (Depassivation).

**القلوى ( $OH^-$ ) :** في المحاليل القلوية، يتم مقاومة التآكل الصلب بمعدل تسرب الأكسجين خلال نواتج التآكل المترسبة عادة ( $Fe(OH)_2$ ) لذلك فإن معدلات التآكل تكون بطيئة. تتم تحقيق المناعة للصلب في المحاليل القلوية ولكن معادن أخرى مثل الألومنيوم، الزنك والرصاص تتآكل ببطء عند تركيزات قلوية منخفضة ولكن عند رقم هيدروجيني أعلا من 9 تكون المعدلات عالية حيث يلزم توفير المثبطات.

**المياه ذات تركيز الأملاح المنخفضة والمتوسط:**

المياه ذات تركيز الأملاح المنخفض والمتوسط توجد في نظم إمدادات المياه المنزلية، وفي مياه التبريد، وفي الأنشطة البحرية وفي نظم حقن المياه في حقول البترول. في نظم تدوير المياه المقفلة يمكن التخلص من الأكسجين وعادة يتم التحكم في التآكل بضبط الرقم الهيدروجيني عند القيمة القلوية. في الأنظمة المفتوحة يكون التآكل حاد جداً والمثبط الجيد يكون مطلوب. نظراً لأن المعادن تمتاز أيونات الأملاح المذابة في الماء ، فإنه تزيد صعوبة المثبط في الوصول إلى سطح المعدن واستبدال الأيونات الممتزة، مقارنة لما يحدث في المياه الخالية من الأملاح، لذلك فإنه يكون مطلوب تركيز أعلا من الأملاح. هذا بالإضافة إلى أن أيونات الكلوريد لها تأثير إزالة المناعة، أي أنها تزيد من صعوبة مقاومة التآكل باستخدام مثبطات التآكل. لذلك يكون من المهم المحافظة على تركيزات المثبط عند مستوى الأمان في المياه المحتوية على أملاح مذابة، وخاصة الكلوريدات.

مياه الشرب لا يمكن معالجتها بمعظم المثبطات بسبب سميتها، ولكن لحسن الحظ المعالجة بالجير المطفى (Lime) لرفع الرقم الهيدروجيني عادة توفر حماية كافية لمواسير المياه من الصلب أو الزهر. فى حالة ارتفاع الكلوريدات أو الكبريتات فى الماء عندئذ تضاف البولى فوسفيت (Polyphosphates) لتنشيط إضافى. يمكن استخدام السليكات كذلك فى مياه الشرب ولكن عيوبها أنها تكون ترسيبات مع الحديد والكالسيوم حيث تتكون قشور (Scales) على الأسطح الداخلية للمواسير وكذلك أسطح المبادلات الحرارية. نظم مياه التبريد يمكن أن تكون إما دارة (Recirculating) أو من نوع التمرير الواحد (Once-through). نظم التدوير أكثر سهولة فى التحكم باستخدام المثبطات حيث يمكن استخدام تركيزات أعلا حيث يعاد استخدام المياه. كلا من كرومات الصوديوم ونيتريت الصوديوم كلاهما مؤثر فى كل نظم التدوير الصلب المقفلة. نيتريت الصوديوم يمكن أن يكون أمونيا بالاختزال عند المواقع الكاثودية، لذلك فإنه لا يستخدم فى النظم التى تحتوى على النحاس الأصفر (Brass) أو النحاس ذلك لأن تلك المواد معرضة للتشقق بالإجهاد والتآكل بواسطة الأمونيا. خليط الجليكول الماء (Glycol-Water) مثل المستخدم لتبريد المحركات لا يمكن تثبيطه بالمثبطات المؤكسدة مثل الكرومات أو النيتريت ذلك لأن الجليكول يتأكسد. وهذا لا يستهلك المثبط فقط ولكن يكون أحماض عضوية التى تكون عدوانية على نظام التبريد. نظم التبريد هذه يتم تثبيطها عادة بخليط من البوراكس (لاستمرار رقم هيدروجيني قلوئى)، (Mercaptobenzothiazole) الذى يثبط تآكل النحاس الأصفر والنحاس. البوراكس فقط كافى للصلب الملتصق مع خليط من الجليكول والماء ولكن البوراكس والجليكول عدوانى على زنك الجلفنة بسرعة وكذلك على الزنك فى النحاس الأصفر بسبب تكون مركبات معقدة من الزنك عند درجة الحرارة المنخفضة. لذلك فإن إضافة (Mercaptobenzothiazole) يعتبر ضرورى فى نظم التبريد ذات المعادن المختلطة. يضاف كذلك زيت مذاب لزيادة الحماية ونزيج أجزاء الحركة فى نظم التبريد.

نظم التبريد ذات التمرير الواحد تحتاج لمثبطات تآكل غير مكلفة. الوضع يشبه لذلك فى مياه الشرب المنزلية حيث يضاف لبن الجير أو البولى فوسفيت.

في المياه شديدة العدوانية بسبب التركيز العالي للكلوريد، يمكن استخدام الكرومات أو النيتريت بالإضافة إلى البولي فوسفيت. المياه التي قد تحتوي على كميات كبيرة من المواد العضوية مثل مياه البحر والمياه المالحة لحقن حقول للزيت، عادة لا يتم تثبيطها بالمثبطات المؤكسدة مثل الكرومات والنيتريت ذلك بسبب الاستهلاك العالي للمثبط خلال أكسدة المواد العضوية. المثبطات الغير عضوية والغير مؤكسدة مثل (سيليكات الصوديوم) يجب استخدامها بتركيزات عالية بسبب المحتوى العالي من الكلوريد في المياه المالحة. عموماً، توفر المثبطات العضوية أفضل الوسائل للحماية في المياه المالحة الملوثة بالمواد العضوية. تركيز المثبط فقط في حدود 10 - 20 جزء في المليون من الأمينات الدهنية (Fatty Amines) يوفر عادة حماية مؤثرة من التآكل في المياه المالحة لآبار حقول زيت البترول.

#### التركيزات العالية للأملاح :

تركيزات الأملاح العالية جداً تستخدم في المحاليل المائية للتبادل الحراري في نظم التبريد. درجة الحرارة عادة تكون منخفضة دائماً ونظراً لأن المياه شديدة الملوحة يتم تدويرها، فإن التركيز العالي للمثبط يمكن استمراره اقتصادياً. كرومات الصوديوم ذات تأثير في المياه شديدة الملوحة للتبريد شريطة عدم وجود مخاطر من السمية. إذا كان هناك عامل فسيولوجي عندئذ يمكن استخدام داي صوديوم فوسفيت (Disodium Phosphate) رغم أنه ليس له التأثير الجيد مثل كرومات الصوديوم بالنسبة للحد من التآكل.

#### تأثيرات الرقم الهيدروجيني : (Effects Of pH) :

الرقم الهيدروجيني للمحاليل المائية شديد الأهمية نحو تعيين نوع مثبط التآكل الذي يكون أكثر تأثيراً أو اقتصاداً. المياه العسر الطبيعية بها مركبات الكالسيوم المذاب طبقاً لتفاعل الاتزان الآتي:



عند درجات الحرارة المرتفعة يحدث التفاعل العكسي حيث تصبح الأسطح الساخنة مغطاة بطبقة من كربونات الكالسيوم (CaCO<sub>3</sub>)، كذلك تنتج طبقة حماية عندما تصير بيكربونات الكالسيوم Ca(HCO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> قلوية في المناطق الكاثودية.



مذاب      غير مذاب      قلوي      مذاب



قشور الترسيبات (Scales) من كربونات الكالسيوم التي ترسب تثبط التآكل بخفض المساحات الكاثودية ، حيث تعيق تسرب موانع الاستقطاب الكاثودية وزيادة المقاومة الأومية. لهذا السبب ، فإن بعض المياه الطبيعية العسر تكون أقل عدوانية عن المياه المزال عسرها. إضافة كبريتات الزنك ( $Zn SO_4$ ) يثبط التآكل كذلك بترسيب أيروكسيد الزنك الغير مذاب على المناطق الكاثودية.



مذاب      غير مذاب      قلوى      مذاب

الحموضة لوجود كبريتيد الهيدروجين تعتبر مشكلة كبيرة. الغاز المذاب عدوانى على الصلب عند المتعرض الأولى فقط بسبب تكون طبقة حماية من سلفيد الحديد. طبقة سلفيد الحديد (Iron Sulphide) توفر حماية مؤقتة فقط ، ذلك لأنها تصبح نفاذة لكبريتيد الهيدروجين ويزداد معدل التآكل مع الوقت منتجاً تآكل (Blistering) ، فقد كبير فى المعدن واحتمال القصفة الهيدروجينية. مثبطات التآكل العضوية تزيد من الفترة السابقة لمعدلات التآكل العالية، ولكن طبقة سلفيد الحديد تمنع اقتراب المثبط من سطح الصلب ونتيجة لذلك فإن عملية التآكل يمكن أن تستمر بدون تثبيط. أفضل طريقة للمقاومة الكيماوية ضد تآكل كبريتيد الهيدروجين هى بإزالة سلفيد الهيدروجين من الماء بالتيار المعاكس لتجريد الغاز (Counter Current Gas Stripping) أو بتنظيف الصلب من آن إلى آخر بالحامض لتوفير وصول المثبط إلى سطح المعدن. يمكن تنظيف الصلب جيداً أحياناً ليكون التثبيط مؤثراً وذلك باستخدام عامل بلل قوى (Wetting Agent) .

#### الاحماض القوية : (Strong Acids) :

تحدث التركيزات العالية للحامض فى عمليات تنظيف الأسطح بالحامض (Picking) ، وفى معالجة آبار الزيت بالأحماض (Acidizing) وأثناء تداول الأحماض للاستخدام فى العمليات الكيماوية . حامض الهيدروكلوريك لجميع التركيزات يتطلب مثبط فى حالة استخدام الصلب. استخدام المثبط فى عمليات استخدام الحامض لتنظيف سطح المعدن كذلك يسمح للحامض بإذابة الترسيبات القشرية من الصلب بدون عدوانية شديدة على المعدن. الأحماض المستخدمة فى النظافة يتم تثبيتها جيداً بإضافة حوالى 0.2% من مركب



عضوى مثل الأنيلين، الثيوريا (Thiourea) أو زيت الخروع الكبريتى (Sulphonated Caster oil). المثبطات الكاثودية مثل أملاح الزرنيخ ( $As_2O_3$ ,  $Na_3AsO_4$ ) تعتبر مثبطات جيدة لأحماض نظافة الأسطح المعدنية ولكنها ليست محبة مثل المواد العضوية حيث أنها تسبب بثور وقصافه لبعض أنواع الصلب. مركبات الزرنيخ لا يتم استخدامها في السوائل التى يتم فيها استخدام العوامل الوسيطة نظراً لأنها سامة لمعظم العوامل الوسيطة (Catalysts).

تركيزات حامض الكبريتيك والفوسفوريك حتى 70% يمكن تثبيطها بطرق مشابهة لتلك المستخدمة لحامض الهيدروكلويك. تركيزات حامض الكبريتيك أعلا من 70% تحدث تآكل بطئ في الصلب ولا تحتاج تثبيط. حامض الفوسفوريك بدرجة التسميد (Fertilizer Grade) (73% حامض أسود) سريع العدوانية على الصلب وعادة يثبط بواسطة أيوديد البوتاسيوم. المثبطات العضوية ليست مؤثرة في حامض الفوسفوريك المركز عند استخدامها فقط ولكن يكون المطلوب تركيز منخفض من أيوديد البوتاسيوم للتثبيط إذا أضيفت الأمينات الدهنية كذلك (Fatty Amines).

هذا التوضيح نحو استخدام وخواص مثبطات التآكل في السوائل المائية يوضح بعض التداخل المشترك ما بين المثبط والمجال الملاصق. يجب عمل الاختبارات والتحليل بحرص قبل وضع برنامج كبير لمثبط التآكل. عند العمل مع المياه الطبيعية يجب العناية الخاصة لمكوناتها، وخاصة بالنسبة لاحتمالات التثبيط ووجود أيونات تتداخل.

#### النظم الغير مائية : (Non Aqueous Systems) :

التآكل في النظم الغير مائية مثل الوقود ، مواد التزليج وزيوت الطعام يكون عادة بسبب وجود كميات صغيرة من الماء. الماء قليل الذوبان في منتجات البترول وذوبانه يزداد بارتفاع درجة الحرارة. في حالة تشبع المذيب الغير مائي بالماء وانخفاض درجة الحرارة عندئذ يفصل بعض من الماء حيث يحدث تآكل في الصلب الملاصق له. الزيوت المعرضة لدرجة حرارة مرتفعة في الهواء كذلك البترول يحتوى على أحماض عضوية التى سيتم إستخلاصها بأى ماء موجود لتزيد من معدل تآكل الصلب. تآكل الصلب حيث يتم تداول الزيوت الرطبة يمكن تثبيطه بكل من المركبات العضوية والغير عضوية. المركبات العضوية

المؤثرة تشمل مختلف الأمينات (LecithinK Mercaptobenzothiazole Amines). المثبطات الغير عضوية تشمل نيتريت الصوديوم ، نترات الصوديوم ، الكرومات ، لا تستخدم لعدم ثباتها في وجود المواد العضوية.

كميات صغيرة من الماء تثبط التآكل في بعض المذيبات الغير مائية المذيبات المكوره، مثال، تكون شديدة وسريعة العدوانية على الألومونيوم ولكن وجود الماء يعمل على تحلل نواتج التآكل (Hydrolyzes) مكوناً طبقة حماية من إيدروكسيد الألومنيوم. الأمينات العضوية مؤثرة كمثبطات الأوعية الصلب لإزالة الشحوم المعرضة للمذيبات الساخنة المكوره ولكنها لا تحقق الحماية المستمرة للألومونيوم.

أثار من المياه (0.001 %) في سائل فلوريد الهيدروجين يعمل كمثبط مناعة (Passivating Inhibitor) للنكل. وهذا مثال شديد الأهمية لتداخل التفاعل ما بين المذيب والمثبط. الآلية الصحيحة للتنشيط بالماء في (HF) غير معروفة ولكن تأثير المناعة يشبه لذلك الملاحظ على الصلب في وجود الكرومات في المحاليل المائية. الإذابة عامل هام يجب أن يراعى عند تقدير مثبطات التآكل للسوائل الغير مائية ذلك لأنها ليس لديها قوة الإذابة الشديدة للماء. نظراً لأن المثبط يجب نقله خلال المجال الملاصق إلى الأماكن حيث يحدث التآكل، فإنه يجب أن يكون أما مذاب في هذا المجال أو منتشر بما فيه الكفاية في نقاط دقيقة جداً بحيث لا يحدث ترسيب. كذلك، فإن المثبط يجب ألا يكون مواد غير مذابة مانعة للتسرب بالتفاعل مع المعادن أو مكونات السوائل الغير مائية. بعض مثبطات التآكل المستخدمة سابقاً في الجازولين وجد أنها تتفاعل مع الزنك في خزانات الوقود المجلفنة مكونة راسب الذي عمل على انسداد الفلاتر.

اختيار المثبطات في المجال اللامائي أكثر صعوبة عن المحاليل المائية خاصة إذا كان التآكل يرجع إلى انفصال الماء مكوناً نظام من مجالين. هذه الحالة نحو الازدواج في المعمل صعبة ، منحنيات الاستقطاب لا يمكن استخدامها بكفاءة ذلك لأن معظم المذيبات الغير مائية غير موصلة. هذا بالإضافة إلى أن عينات التآكل الموضوعة في المواسير أو الخزانات الحاملة للوقود أو المنتجات المشابهة يمكن أن تعطي نتائج خاطئة ذلك لأنه يمكن ألا تلتصق أو تبطل بالمجال المائي.

الاختبار المعملى المقبول لنظام المجالين (المسمى اختبار العجلة) (Wheel Test) يتكون من البلل لعينة الاختبار بالتبادل بواسطة المجال العضوى والمجال المائى وذلك بتدوير وعاء محتوى على المجالين. هذا الاختبار مفيد جداً ولكن لا يعتمد عليه دائماً بسبب محدودية حجم المذيب وصعوبة تزاوج تأثيرات السرعة والركود فى النظم الحقيقية.

### المجالات الغازية : (Gaseous Environments)

#### مقدمة :

المجالات الغازية تشمل الجو المفتوح العادى، مجال البخار فى الخزانات، الغاز الطبيعى فى الآبار والحيز الفارغ فى حاويات التعبئة. هناك كذلك، فإن الماء والأكسجين هما عوامل العدوانية الرئيسية ولكن المشكلة الرئيسية نحو توفير المثبط هى انتقال المثبط من المصدر إلى الأماكن حيث يحدث التآكل.

### الجو العادى المفتوح : (The Open Atmosphere)

مثبطات التآكل فى الجو المفتوح تستخدم مباشرة على أسطح المعادن المطلوب حمايتها. الطريقة الشائعة هو باستخدام الكرومات (Chromates) فى البويات. تستخدم كرومات الزنك والرصاص الأحمر فى طبقات البطانة. رؤوس مسامير البرشام تغطى بردغه (Slurry) من كرومات الزنك. عند دفع مسمار البرشام ضد سطح آخر تتفجر كبسولات كرومات الزنك (Microen Capsulated Zin Chromate) لتوفير مثبط مستمر للفجوات أسفل رأس مسمار البرشام. لا تستخدم المثبطات المتطايرة فى الجو المفتوح ذلك لأنها غير عملية ولا يمكنها تشبع الحيز البخارى.

### حيز البخار المغلق : (Closed Vapour Space)

حوائط الخزانات فوق خط المياه معرضة للتآكل الحاد بسبب الرطوبة النسبية التى تكون مرتفعة دائماً وزيادة الأكسجين إذا تم تصريف الخزان نحو الهواء الجوى. عندما لا يكون تلوث الماء عامل، فإن طبقة الزيت على السطح تساعد على استمرار الرطوبة المنخفضة ومع ارتفاع المنسوب وانخفاضه تكون الجدران مغطاة بطبقة من الزيت. الزيت يمكن أن يحتوى على مثبط عضوى وعامل مساعد (عادة Amine) ليعمل على انتشار

الزيت على سطح المعدن. طبقة الزيت المحتوية على 15% من دهن الصوف (Lanolin) تستخدم في خزانات صابورة (Ballast لحفظ التوازن) السفن لمقاومة التآكل.

الآبار غالباً ما تتآكل في منطقة الرجوع أو الارتداد (Refluxzone) والتي هي منطقة في البئر ما بين القاع ورأس البئر حيث يحدث التكثف. مع تدفق الغاز لأعلا البئر فتتخفض درجة حرارته بسبب التمدد وهذا يسبب التكثف عند وصول درجة الحرارة إلى نقطة الندى (Dew Point) للغاز. المثبطات المتطايرة مثل الفورمالدهايد والأمونيا التي تحقن في الآبار قد استخدمت بنجاح لتثبيط التآكل في آبار الغاز. كثيراً من آبار الغاز يتم حمايتها حالياً بحقن مثبطات الأمينات (Amines) باستمرار بالضخ المتتابع (Slugs) أو الحشر، بحيث يمكنها تغطية البئر عند الحقن وكذلك تدخل تدفق الغاز جزئياً بالتبخير وجزئياً بالحجز. بعض آبار الغاز يتم حمايتها لسنين بمجرد الحشر لكمية من المثبط في مكونات التربة المنتجة للغاز.

#### المواد المعبأة : (Packaged) :

يمكن حمايتها من التآكل بعدة طرق العبوات التي يمكن تغليفها (Sealed) والتي تحتوي على أجزاء لا يمكن تغطيتها باستخدام المثبط أو تعرضها لمثبطات متطايرة (مثل القطع الأليكترونية) يتم حمايتها بوضع ماص للرطوبة (مجفف) مثل السليكاجيل في العبوة للمحافظة على أدنى مستوى من الرطوبة. مثبطات مجال البخار (VPI – Vapour Phase Inhibitor) يمكن وضعها في العبوة أو بتغليف الآلة في ورق مشبع بمثبطات مجال البخار.

هذه المركبات متطايرة بما يتطلب أن يكون لحام العبوة جيداً. مادة مثبط مجال البخار المستخدم عادة هي مادة :

Dicyclohexy Lamine Nitrite (DHN) and Dicyclohexy Lamine Carbonate (DHC)

هذه المثبطات مؤثرة جداً للصلب ولكن يجب اختبارها في حالة وجود معادن أخرى بخلاف الصلب ذلك لأنها عدوانية على بعض المعادن الغير حديدية. التغطية بالمثبطات توفر طريقة مؤثرة وغير مكلفة للحماية من التآكل للمواد المعبأة.



المعادن شديدة الحساسية لكبريتيد الهيدروجين مثل النحاس والفضة تتم حمايتها بحفظها في ورق مشبع بمركبات النحاس أو الزنك. هذه المواد ليست مثبطات تآكل بالمعنى الحقيقي ذلك لأنها تمتص مركبات الكبريت الغازية لمنع التفاعل مع الفضة أو النحاس.

### تأثير درجات الحرارة المرتفعة :

معظم تأثيرات ارتفاع درجات الحرارة هي إعاقة عمل مثبط التآكل. درجات الحرارة المرتفعة تزيد من معدل التآكل (حوالي الضعف لكل زيادة في درجة الحرارة 20 درجة فهرنهايت) وانخفاض استعداد المثبط للامتصاص على سطح المعدن. المثبطات المكونة للترسيبات أقل تأثيراً عند درجات الحرارة المرتفعة بسبب زيادة الإذابة لرواسب الحماية. الثبات الحراري لمثبطات التآكل يعتبر عامل هام عند درجات الحرارة العالية. فمثلاً، البولى فوسفيت (Polyphosphates) يتحلل بالماء الساخن مكوناً الأورثوفوسفيت (Orthophosphates) والذي قدرته على التثبيط أقل. معظم المركبات العضوية تكون غير ثابتة عند درجة حرارة أعلا من 204°م لذلك فإنها توفر تثبيط مؤقت.

في النظم المائية المتعادلة أو قليلة القلوية يحدث التآكل للصلب بمعدل منخفض جداً شريطة عدم وجود الأكسجين عند درجات الحرارة المرتفعة، وأن تكون أسطح الصلب نظيفة. هذا المبدأ هو الأساس لمعالجات المياه لمنع حدوث التآكل، حيث تصمم المعالجة لتوفير القلوية وإزالة الأكسجين لمنع ترسيب القشور. في المياه الساخنة الخالية من الأكسجين تتم حماية الصلب بتكون طبقة حماية من الماجنيتيت (Magnetite Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>) والتي تتكون بتفاعل الحديد مع الماء



في حالة وجود الأكسجين عندئذ يتكون Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> الذى لا يوفر الحماية عند درجات الحرارة المرتفعة يزال الأكسجين بسرعة من مياه الغلايات بالتفاعل مع سلفيت الصوديوم (Sodium Sulphite) أو الهيدروجين (Hydrazine). الهيدروجين يفضل ذلك لأنه لا يعمل على زيادة المحتوى من الأملاح في الغلاية، بالإضافة إلى أنه يتفاعل أسرع من

سلفيت الصوديوم عند درجات الحرارة المرتفعة، الجرعة المطلوبة للتفاعل مع كمية معينة من الأكسجين تكون أقل كما أنه أسهل في الاستخدام لكونه سائل.

مياه الغلايات تظل عند الرقم الهيدروجيني القلوى لتسهيل تكون واستمرار طبقة الحماية من ( $Fe_2O_3$ ). كذلك يكون المطلوب استخدام إضافات التى ستحمل إلى خطوط تكثيف البخار لاستمرار حالة القلوية فى هذه الأماكن كذلك. المستخدم هو مركبات الأمينات المتطايرة (Volatile Amines) مثل الأمونيا، المورفولين، السيلكو هكزايل أمين (Cyclohexyl amine).

ترسيب القشور (Scales) فى الغلايات يقلل الانتقال الحرارى ويحدث تآكل من النوع التقبى. عادة تستخدم وحدات إزالة عسر المياه لمعالجة مياه التغذية للغلايات لإزالة أيونات العسر من الكالسيوم والمغنسيوم والحديد ، ولكن مثبط تآكل لهذه القشور يتم عادة إضافته مثل فوسفات الصوديوم (Sodium Phosphate) الذى يضاف عادة كذلك. أملاح الفوسفات هذه تمنع حدوث هذه القشور التى ترسب بزيادة التشبع الزائد فى الماء لكل من  $CaSO_4$  ,  $CaCO_3$  (Supersaturation).

ارتفاع درجات الحرارة يزيد من معدل التآكل للمعادن فى الأحماض ذلك لأن القوة الدافعة لتفاعلات الأنود والكاثود تزداد وتنخفض الجهد الزائد (Over Voltage) للهيدروجين. عوامل أخرى مثل زيادة الإذابة لنواتج التآكل وزيادة معدل إذابة أكاسيد المعدن تزيد كذلك من معدل التآكل.

بينما يتم تداول الأحماض الساخنة جيداً بالسبائك المقاومة أو الصلب المغطى، غلا أن الاستثناء هو تحميص آبار الزيت (Acidizing). ليس مناسب من الناحية العملية تغطية أو تبطين قيسون بئر الزيت ذلك لأن للتغطية يتم اتلافها فوراً عند إدخال الآلات.. الخ. كذلك فإن درجة حرارة قاع آبار الزيت تكون عادة ما بين 93 - 149<sup>5</sup>م وأحياناً ترتفع إلى 232<sup>5</sup>م. المثبطات للأحماض المستخدمة لزيادة نقاوة التربة المنتجة للزيت (عادة حامض الهيدروكلوريك) تكون مؤثرة حتى 120<sup>5</sup>م ولكن غير مناسبة أعلا من درجة الحرارة هذه. المثبطات المستخدمة هى عادة من نوع الأمين (Amine Type) لتثبيط المعالجة بالحامض لآبار الزيت.

### أنواع المثبطات : (types of Inhibitors) :

سيتم مناقشة خمسة أنواع من المثبطات وهي المحققة للمناعة (Possivating)، الكاثودية، العضوية، المسببة للترسيب ، المثبطات ذات المجال البخارى.

### المثبطات المسببة للمناعة (Passivating Inhibitors) :

المثبطات المسببة للمناعة هي من أكثر المثبطات تأثيراً حيث أنها يمكن أن توقف التآكل تماماً. ولكنها تعرف كذلك بالمثبطات الخطرة حيث أنها فى ظروف خاصة يمكن أن تعجل التآكل.

يوجد نوع من المثبطات المسببة للمناعة الآن أيونات المؤكسدة مثل الكرومات (Chromates)، النيتريت (Nitrite) ، والنترات والتي يمكن أن تحقق المناعة للصلب فى عدم وجود الأكسجين، والأيونات الغير مؤكسدة مثل الفوسفات، التجسستن والمولبدينوم والتي تتطلب وجود الأكسجين لتحقيق المناعة للصلب.

**الآلية (Mechanism) :** آلية تحقيق المناعة للصلب بالكرومات تبدو أن الحماية تتم بواسطة كلاً من الادمصاص وتكون الأكسيد على سطح الصلب. الادمصاص يساعد فى استقطاب الأنود إلى الجهد الكافى لتكوين طبقة رقيقة جداً من أكسيد الحديدك لحماية الصلب ، الأدوات التى يتم حمايتها بالكرومات تظل لامعة فى المجالات العدوانية الأخرى. طبقة الأكسيد هي عبارة عن خليط من أكاسيد الحديدك والكروميك وتظل فى حالة جيدة بالادمصاص والأكسدة مع فقد قليل جداً من المعدن طالما ظل الكرومات كافياً فى المحلول.

المثبطات المسببة للمناعة تكون معجلة للتآكل عند التركيزات المنخفضة ذلك لأنها مانع جيد لاستقطاب الكاثود. طبقة الأكسيد المسببة للمناعة تكون موصلة وكاثودية بالنسبة للصلب، لذلك فإن الصلب ذو المناعة يتكون غالباً وكنية من مساحات كاثودية. عند اختراق طبقة المناعة بالخدش أو الإذابة وعند عدم توفر الكرومات الكافى لإصلاح الطبقة، عندئذ فإن الصلب المعرض يصبح منطقة أنودية صغيرة وسط منطقة كاثودية كبيرة من طبقة مناعة حيث يحدث على هذه المنطقة الأنودية تآكل موضعى، مما ينتج

عنها تآكل ثقبى فى المعدن. خفض الكرومات عند الأماكن الكاثودية يوفر تيار كاثودى يساعد على استمرار المعدل العالى للاختراق. آلية النيترويت والنترات تشبه تلك للكرومات. عوامل المناعة الغير مؤكسدة هى كذلك خطرة عند استخدامها بكميات غير كافية ذلك لأن الأكسجين اللازم لتوفير المناعة هو مانع جيد للاستقطاب الكاثودى. عملياً تتم تحقيق المناعة للصلب فى أى محلول مائى عدا تلك التى تحتوى على مواد فى المحلول يسهل أكديتها، أو تركيزات عالية من أيونات الكلوريد، فمثلاً ، لا يتم استخدام الكرومات (Chromate) فى البنية الحامضية المحتوية على كبريتيد الهيدروجين ذلك لأنها تفقد بأكسده السلفيد إلى الكبريت الحر. التركيزات العالية لأيون الكلوريد تمنع حدوث المناعة ذلك لأنها تنافس الكرومات فى الادمصاص، وبذا تمنع استقطاب الأنودات. وهى كذلك تمنع ترسيب أكاسيد الحماية بتكوين معقد مذاب مع أيونات الحديدك.

لتركيز المناسب للمثبط المسبب للمناعة، فإنه يوجد تركيزاً لأيونات الكلوريد والكبريتات التى تسبب المناعة. الجدول (4/1) يوضح بيان التركيزات الحرجة من كلوريد الصوديوم وكبريتات الصوديوم اللازمة لإحداث التآكل الثقبى للصلب فى وجود تركيزات مختلفة من كرومات الصوديوم ونيتريت الصوديوم. والتركيزات الحرجة تتغير طبقاً لعوامل أخرى، فمثلاً زيادة الكلوريد أو الكبريتات سيكون مطلوباً لإزالة المناعة (Depassivation) مع انخفاض درجة الحرارة، لزيادة تركيز الأكسجين أو انخفاض الرقم الهيدروجينى.

جدول (4/1) التركيز الحرج لكلوريد الصوديوم أو كبريتات الصوديوم حيث زيادته تحدث تآكل ثقبى للحديد فى محاليل الكرومات أو النيتريت.

اختبار خمسة أيام - عند 25 <sup>5</sup> م ، محاليل رابدة			
التركيز الحرج جزء فى المليون		التركيز جزء فى المليون	المثبط
Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	NaCl		
55	12	200	NaCrO <sub>4</sub>
120	30	500	
20	210	50	
55	460	100	
450	2000	500	NaNO <sub>2</sub>



يجب التأكيد على أن التركيزات الحرجة الموضحة بسبب التغير في السرعات وظروف السطح للمعدن، تركيز المثبط يجب المحافظة عليه بما لا يقل عن ضعف المستوى المطلوب لمنع حدوث التآكل النقي. عند حساب كمية الكرومات المطلوبة لتوفير المناعة، يجب عمل التجاوز للمثبط الذي يستهلك أولاً في توفير طبقة المناعة. كمية كرومات الصوديوم المستهلكة لعمل المناعة للصلب في محلول كلوريد الصوديوم موضحة في الجدول (4/2). فمثلاً إذا كان المطلوب المحافظة على تركيز 250 جزء في المليون من كرومات الصوديوم في الماء المحتوي على 1000 جزء في المليون من كلوريد الصوديوم، عندئذ بالرجوع إلى الجدول (4/2) فإنه يتم إضافة 1.3 رطل من كرومات الصوديوم لكل ألف قدم مربع من الصلب المعرض بالإضافة إلى الكمية المطلوبة لتحقيق التركيز 250 جزء في المليون .

جدول (4/2) كمية كرومات الصوديوم المستهلكة بالصلب في خمسة أيام لتحقيق

المناعة في محاليل كلوريد الصوديوم

كرومات الصوديوم جزء في المليون	رطل/1000 قدم مربع من كرومات الصوديوم التي تستهلك في ماء محتوي على كلوريد صوديوم	
	10 جزء في المليون	1000 جزء في المليون
15	1.0	-
50	1.3	-
100	0.5	1.1
250	0.3	1.3
500	0.1	0.7
100	0.1	0.7

المثبطات الكاثودية: (Cathodic Inhibitors) :

التثبيط بالاستقطاب للتفاعل الكاثودي يمكن تحقيقه بعدة طرق حيث تم تناول عدة أمثلة. العوامل الثلاث الرئيسية ذات التأثير على تفاعل الكاثود هي سمية الكاثود، وترسيبات الكاثود، مواد الكسح أو النظافة (Scavengers) .

## \* سميات الكاثود : (Cathode Poisons) :

سميات الكاثودية هي المواد التي تتداخل مع التفاعلات لتكوين ذرات الهيدروجين أو اتحادها لتكوين غاز الهيدروجين على سطح المعدن المتآكل. معدل تفاعل الكاثود يصبح بطيئاً ولأن التفاعلات الأنودية والكاثودية يجب أن تستمر عند نفس المعدل، عندئذ فإن كل عملية التآكل تصبح بطيئة.

بينما بعض السميات الكاثودية مثل السيلينيدز (Selenides) يتم ادمصاصها على المعدن، فإن معادن أخرى مثل الزرنيخ، الانتيمون، البزمت (Bismuth) تختزل عند الكاثود لترسيب طبقة من المعادن. السلفيدات والسيلينيدز (Sulphides , Selenides) عموماً ليست مثبطات مفيدة، ذلك لأنها لا تذوب في المحاليل الحامضية، وهي ترسب كثيراً من أيونات المعادن وهي سامة. تستخدم الأرسينات (Arsenates) لتنشيط التآكل في الأحماض القوية ولكن في السنين الماضية أصبح الاعتماد على المثبطات العضوية بسبب سمية الزرنيخ.

## رواسب الكاثود (Cathode Precipitates) :

من أكبر أنواع رواسب الكاثود المستخدم كمثبطات هي كربونات الكالسيوم والمغنسيوم ذلك لأنها توجد في المياه الطبيعية والتنشيط بهم يتطلب فقط ضبط الرقم الهيدروجيني. كبريتات الزنك ترسب كإيدروكسيد الزنك على مناطق الكاثود وتعتبر مثبط من هذا النوع. الفوسفات والسيليكات ليست تحديداً مثبطات كاثودية أو أنودية ولكن تبدو كجمع بين النوعين.

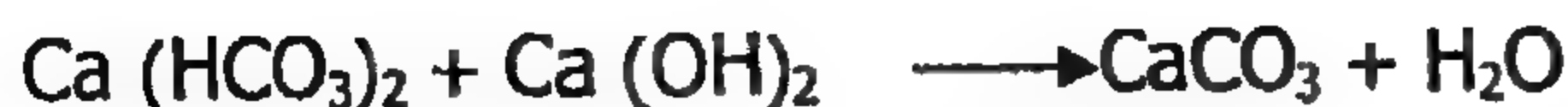
كثيراً من المياه الطبيعية وإمدادات المياه للاستخدام المنزلي تحتوي على كربونات الكالسيوم في المحلول . يتفاعل الحجر الجيري يذوب في الماء طبقاً للتفاعل الآتي مكوناً بيكربونات الكالسيوم المذابة.



غير مذاب

مذاب

يمكن أن ترسب  $\text{CaCO}_3$  ثانياً مكونة عالق أبيض بلون اللبن وذلك بزيادة قلوية محلول بيكربونات الكالسيوم أو بزيادة أيونات الكالسيوم. عادة يضاف لبن الجير لتحقيق الهدفين في نفس الوقت.

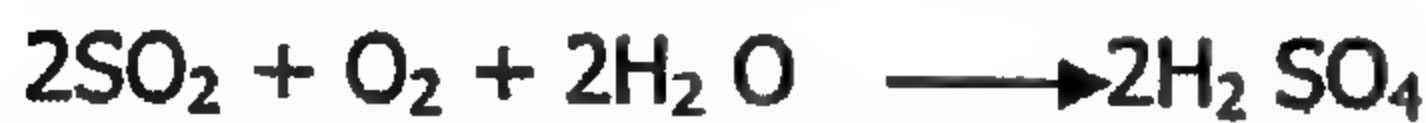


الغرض من تثبيط معالجة المياه هي لزيادة قلوية الماء لمجرد الوصول إلى الرقم الهيدروجيني الذي عنده يحدث ترسيب كربونات الكالسيوم ( $\text{CaCO}_3$ ). في حالة زيادة الرقم الهيدروجيني المناسب لمجرد الترسيب لكربونات الكالسيوم عندئذ تكون الترسيبات من كربونات الكالسيوم مسامية ولزجة والتي لا توفر الحماية من التآكل وقد تعمل على زيادة التآكل بإيجاد خلايا تركيز محاطة بالأكسجين. عند الرقم الهيدروجيني الصحيح يكون الراسب صلب إلى حد ما وناعم ويشبه قشر البيض. بمجرد تكون راسب الحماية فإنه يجب المحافظة على الرقم الهيدروجيني للماء عند مستوى الاتزان (Equilibrium) ذلك لأنه إذا تحول إلى حالة الحموضة فإنه سيعيد إذابة راسب الحماية. الطريقة المناسبة لتقييم حالة الماء لترسيب كربونات الكالسيوم هي مخطط لانجلبير للتشبع (Langelier Saturation Index) والذي هو الفرق بين الرقم الهيدروجيني للماء (pH) والرقم الهيدروجيني اللازم لترسيبه  $\text{CaCO}_3$  ويرمز له بالرمز (pHS). لتعيين ما إذا كان الرقم الهيدروجيني (pHS) عند نقطة الاتزان ، فإنه يتم معايرة قلوية الماء قبل وبعد القيام بالرج مع بعض من الحجر الجيري. إذا كانت عمليتي المعايرة (Two Titrations) متساويتين يكون الرقم الهيدروجيني صحيح. إضافة كبريتات الزنك إلى الماء المتعادل يسبب استقطاب للتفاعل الكاثودي بترسيب أيروكسيد الزنك. رغم أن كثيراً من أيونات المعدن تكون أيروكسيدات غير مذابة ، إلا أن القليل منهم هو المفيد كمثبت للتآكل. أيونات النحاس والنيكل تختزل على الصلب الذي يتآكل لتكوين راسب الذي له زيادة قليلة الفولتية الهيدروجيني (Low Hydrogen Over Voltage) ، وبذا يمكنه أن يسبب زيادة في معدل التآكل . بينما مركبات الرصاص هي كذلك تختزل ولكنها تكون راسب مثبت للتآكل، أملاح الرصاص سهلة الترسيب من المحلول ولذلك فإنها نادراً ما تستخدم كمثبتات للتآكل.

## إزالة الأكسجين : (Oxygen Scavengers)

تآكل الصلب فى الماء عند رقم هيدروجينى أعلا من حوالى (6) يكون بسبب وجود أكسجين مذاب والذي يزيل استقطاب التفاعل الكاثودى. المياه المتعادلة ذات المحتوى المنخفض من الأملاح التى تكون فى حالة اتزان مع الهواء عند 21م تحتوى على 8 جزء فى المليون من الأكسجين المذاب. تركيز الأكسجين يقل مع زيادة تركيز الأملاح وزيادة درجة الحرارة . فقط ان جزء فى المليون من الأكسجين يكون لازماً لزيادة معدلات التآكل بشدة فى النظم الديناميكية المتحركة. ولكن فى النظم الاستاتيكية الثابتة يكون مطلوب تركيز أعلا من الأكسجين لزيادة معدل التآكل بشدة ذلك لأن تفاعل التآكل يقلل من الأكسجين فى المكان القريب للمعدن مباشرة. توجد أجهزة لقياس تركيز الأكسجين المذاب بدقة إلى أقل من 0.1 جزء فى المليون فى المياه الخالية من كبريتيد الهيدروجين (Sweet Water) .

تضاف مزيلات الأكسجين إلى الماء إما منفرداً أو مع مثبط لإعاقة التآكل. مثبطات التآكل العضوية فقط فى المياه المالحة المهواة تعمل على تبطئ معدل التآكل العام، ولكنها لا تمنع حدوث التآكل الثقيل. المزيل العادى المستخدم فى الماء عند درجة الحرارة العادية هو سلفيت الصوديوم (Sodium Sulphite) وثانى أكسيد الكبريت وهذه المواد تزيل الأكسجين طبقاً للمعادلات الآتية :



من هذه التفاعلات يمكن حساب كمية سلفيت الصوديوم أو ثانى أكسيد الكبريت اللازم للتفاعل مع كمية الأكسجين الموجودة فى الماء.

مثال :

عندما يكون المطلوب تفاعل كبريتيت الصوديوم أو ثانى أكسيد الكبريت مع كمية 0.1 جزء فى المليون من الأكسجين المذاب كالاتى :



من المعادلات السابقة يلاحظ أن 2 جزئ من سلفيت الصوديوم تتفاعل مع جزئ من الأكسجين المذاب. الوزن الجزيئي لسلفيت الصوديوم هو 126 (حيث  $\text{Na}_2\text{SO}_3 \times 2 = 23$  للصوديوم +  $32 \times 1$  للكبريت +  $16 \times 3$  للأكسجين = 126).

وللأكسجين هو 32 (16 للأكسجين  $\times 2 = 32$ ) لذلك  $126 \times 2$  جرام من سلفيت الصوديوم تتفاعل مع 32 جرام من الأكسجين. عندئذ فإن جرام واحد من الأكسجين يحتاج إلى  $32 \times 252 = 7.9$  جرام من سلفيت الصوديوم، ولتقييم النتائج جزء في المليون فإن واحد جزء في المليون من الأكسجين يحتاج إلى 7.9 جزء في المليون من سلفيت الصوديوم. وبالمثل بالنسبة لثاني أكسيد الكبريت ( $\text{SO}_2$ ) حيث الوزن الجزيئي هو ( $\text{S} = 32$ ،  $\text{O}_2 = 2 \times 16 = 32$  إذن  $\text{SO}_2 = 32 + 32 = 64$ ) أى أن جزء واحد في المليون من الأكسجين يحتاج إلى  $128 \div 32 = 4$  جزء في المليون من  $\text{SO}_2$ .

معدل تفاعل الكبريتيت مع الأكسجين عند درجة الحرارة المنخفضة يكون منخفضاً، لذلك فإنه عادة ما يضاف عامل وسيط. بينما أملاح الكوبالت والمنجنيز هي من أفضل العوامل الوسيطة، إلا أن الكوبالت يساعد على زيادة معدل التفاعل أكثر. النحاس لا يضاف إلى النظم من الصلب نظراً لأنه يخفض الفولتية العالية للهيدروجين. ولذلك فإن الكوبالت هو المفضل والمنجنيز هو البديل الثانى القريب.

الهيدروجين يتفاعل ببطئ شديد مع الأكسجين فى الماء عند درجات الحرارة المنخفضة فى عدم وجود عامل وسيط. هذه الخاصية بالإضافة إلى مخاطر الهيدروجين عند التداول بواسطة عناصر غير مدربة أدى إلى الحد من استخدامه للمياه ذات درجة الحرارة المنخفضة. فى غلايات الضغط العالى يكون الهيدروجين هو المفضل للتخلص من الأكسجين.

#### المثبطات العضوية : (Organic Inhibitors) :

تزداد كفاءة الأمينات العضوية (Organic Amines) كمثبطات تآكل عند وجود أيون هالوجين معين . أيونات الهالوجين وحدها تثبط التآكل إلى حد ما فى المحاليل الحامضية. أيون اليود ( $\text{I}^-$ ) هو الأكثر تأثيراً ، يليه أيون البروميد ( $\text{Br}^-$ ) ، ثم الكلوريد ( $\text{Cl}^-$ ). ولكن

الفلوريد ( $F^-$ ) ليس له خاصية تثبيط واضحة. فمثلاً أيونات الكلوريد تقلل من معدل التآكل للصلب بواسطة حامض الكبريتيك. الجمع بين الأمينات (Amines) والكلوريدات يمكن أن يكون أكثر تثبيطاً عند إضافة أى منهما فقط، أى أن كلاهما متعاون.

المواد العضوية تكون نوعيات متعددة من مثبطات التآكل والتي لا يمكن اعتبارها كاثودية أو أنودية. التأثيرات الكاثودية أو الأنودية فقط تلاحظ أحياناً في وجود المثبطات العضوية ولكن كقاعدة عامة فإنها تؤثر على كل السطح للمعدن الذى يتآكل عند وجودها بتركيزات كافية. من المحتمل أن يحدث التثبيط لكل من المساحات الأنودية والكاثودية ولكن بدرجات مختلفة طبقاً لجهد المعدن، التركيب الكيميائى لجزئ المثبط وحجم الجزئ. الزيادة في تثبيط التآكل مع زيادة تركيز المثبط تعود إلى أن التثبيط هو نتيجة امتصاص المثبط على سطح المعدن. الطبقة التى تتكون بالامتصاص للمثبطات العضوية المذابة تكون بسمك عدة جزئيات قليلة بحيث لا ترى.

المثبطات الكاتايونية مثل الأمينات (Amines) أو المثبطات الآن أيونية مثل السلفونيت (Sulphonates) يحدث لها امتصاص تفضيلى طبقاً لشحنة المعدن سواء كانت سالبة أو موجبة بالتتالى بالنسبة للمحلول. الجهد البينى الذى عنده لا يتم تفضيل الجزئيات الكاتونية أو الآن أونية يعرف بنقطة الصفر للشحنة (ZPC- Zero Point of Charge). لذلك فإن الجمع بين الحماية الكاثودية والمثبط الذى يتم امتصاصه أقوى عند الجهود السالبة يعطى تثبيط أعلا من أى من الحماية الكاثودية أو المثبط عند استخدام أى منهما وحده.

### تأثير التركيب الجزيئى : Effects of Molecular Structure :

الأمينات الأولية (Primar Amines) هى أكثر كفاءة كمثبطات مع زيادة طول التسلسل (Chain Length)، ولكن بالمقارنة الأليفات الأولية (Primary Aliphatic Mercaptants) وبعض الألدهايدز (Aldhydes) نقل كفاءتها مع انخفاض طول التسلسل. من المحتمل أن تكون هذه النتائج بسبب تداخل عدة عوامل والتي تؤثر على قوة رباط الامتصاص، الدمج للطبقة الممتزة واستعداد الجزئيات الممتزة للتقاطع أو للتفاعل مع جزئيات مجاورة.

### الإدمصاص (Adsorbption) :

بالنسبة للمثبتات العضوية المذابة العامل الهام هو قوة رباط الإدمصاص (Adsorbption Bond). إدمصاص المثبط من محلول يحقق الإتزان الآتى :



حيث (Isolution) هي المثبطات العضوى المذاب. من خاصية هذا الاتزان أنه فى حالة تغير تركيز أن من الحالتين سيغير من الآخر للمحافظة على حالة الاتزان. لذلك فإن كمية المثبط على السطح ستزداد مع زيادة التركيز فى المحلول (Isolution) أى تركيز المثبط فى المجال المستخدم . كفاءة التثبيت تزداد بزيادة التركيز حتى تشبع السطح أى أنه امتص جزيئات المثبط على الأماكن المتاحة. لذلك فإن رباط الإدمصاص يزداد بانخفاض تركيز المثبط فى المحلول اللازم للحصول على تغطية مطلوبة للسطح. المثبطات المذابة تكون طبقة حماية فقط ذات سمك عدة جزيئات ولكن فى حالة إضافة مثبط غير مذاب كمادة منتشرة (Dispersion) كنقاط صغيرة فإن الطبقة يمكن أن يزداد سمكها لعدة بوصات. هذه الطبقات تبين الاستمرار الجيد أى أنها تستمر فى تثبيت التآكل لفترة زمنية، عندما لا يتم ضخ المثبط فى المجال الملاصق للمعدن. الاستمرارية خاصة هامة عندما يمكن حقن المثبطات فى النظام فقط على دفعات.

### مثبطات الترسيب : (Precipitation Inhibitors) :

المثبتات المؤدية إلى الترسيب هي مركبات مكونة لطبقات عزل على سطح المعدن والتي تتداخل مع كل من الأنودات والكاثودات مباشرة. من بين المثبطات العادية فى هذا المال هي أملاح السليكات والفوسفات. فى المياه القريبة من التعادل المحتوية على تركيز منخفض من الكلوريدات فإن أملاح السليكات والفوسفات تسبب المناعة للصلب عند وجود الأكسجين لذلك فإن هذه الأملاح تعمل كمثبتات أنودية. ظاهرة أنودية أخرى وهى أن التآكل يكون موضعى فى شكل تآكل ثقبى عند إضافة كميات غير كافية من السليكات أو الفوسفات إلى المياه المالحة . كلا من السليكات والفوسفات تكون ترسيبات على الصلب الذى يزيد من الاستقطاب الكاثودى ، لذلك فإن أدائها يبدو مختلط أى الجمع ما بين كلا من التأثيرات الأنودية والكاثودية .



تستخدم السيليكات عادة في المياه ذات الملوحة المنخفضة المحتوية على الأكسجين- ولها الخاصية النادرة لتنشيط التآكل للصلب الذي تم تغطيته بالصدأ .

بينما تركز السيليكات المطلوب للحماية يتوقف على ملوحة المياه ، في معظم إمدادات مياه الاستخدام المنزلي يكون المطلوب من 5-10 جزء في المليون في المراحل الأولى يليها تدرج في الخفض إلى حوالي 2-3 جزء في المليون بعد استقرار ترسيبات الحماية . نظراً لأن السيليكات تحتوي على حديدك فإنه يعتقد أن وجود أيونات الحديد في الماء يكون أساسى لتكوين راسب الحماية . التركيزات العالية من الكالسيوم والمغنسيوم تتداخل مع التنشيط بالسيليكات ، ولكن هذه المشكلة عادة يتم التغلب عليها بإضافة 2-3 جزء في المليون من البولى فوسفيت بالإضافة إلى السيليكات . تستخدم سيليكات الصوديوم في كثير من نظم إزالة عسر المياه وذلك لمنع حدوث المياه الحمراء أو صدأ المياه يكون بسبب المادة العالقة من إيدروكسيد الحديد . السيليكات تزيل الحديد بالترسيب لذلك فإنها لا تستخدم حيث تكون الترسيبات (Scales) لا يمكن قبولها .

في نظم المياه الموهوة الساخنة سيليكات الصوديوم تحمى الصلب ، النحاس ، النحاس الأصفر . ولكن غالباً ما تكون الحماية غير محققة للغرض وتتوقف على الرقم الهيدروجيني ومكونات الماء . أفضل طريقة هي بضبط مخطط لانجيلير للتشبع الذى سبق وصفه لتسهيل تكون طبقة حماية المحتوية على السيليكات .

الفوسفات (Phosphates) مثل السيليكات تتطلب الأكسجين للتنشيط المؤثر . تركيز (Sodium Hexameta Phosphate)  $(Na_6PO_4)_6$  هكذا ميتا فوسفات الصوديوم بحوالى 10 جزء في المليون . يوفر تنشيط التآكل في المياه الموهوة في حالة أو أن المياه تكون متحركة وليست ساكنة - في المناطق حيث المياه الراكدة يمكن أن يزداد التآكل.

ولكن بسبب تكون خلايا تركيز الأكسجين بالإضافة إلى الحركة فإن وجود أيونات الكالسيوم يكون أساسى للتنشيط . أملاح الفوسفات تثبط ترسيب كربونات الكالسيوم ، لذلك فإن تركيز كلا من الفوسفات والكالسيوم يجب أن يكون متوازناً لتحقيق التنشيط المؤثر . كقاعدة عامة فإن الفوسفات يجب إلا يزيد عن ضعف تركيز كربونات الكالسيوم . لذلك إذا كان محتوى الماء 10 جزء في المليون من كربونات الكالسيوم عندئذ يمكن استخدام حتى



20 جزء في المليون من الفوسفات للتثبيط. في حالة المياه شديدة اليسر يمكن زيادة الكالسيوم بإضافة لبن الجير (Lime).

أبراج التبريد الصناعية يمكن تثبيطها بحوالى 50 جزء في المليون من هكزاميتا فوسفيت في حالة عدم إمكان استخدام الكرومات (Chromate) بسبب فقد في الهواء المضطرب أو الصرف حيث تحدث مشاكل بسبب سمية الكرومات. إضافة أملاح الزنك المذابة عادة تعمل على تحسن التثبيط بواسطة البولى فوسفيت. يمكن تجنب حدوث التآكل الثقيبى وتكون قشور الترسيبات الزائد بالمحافظة على الرقم الهيدروجينى ما بين 6 ، 7 . السيليكات والفوسفات لا تحقق درجة الحماية التى يمكن أن تحققها الكرومات والنيتريت. ولكن تفيد حيث يتطلب الأمر عدم وجود إضافات سامة. السلبية الرئيسية هى اعتمادهم على مكونات الماء وكذلك متطلبات التحكم الجيد للحصول على أقصى تثبيط.

#### مثبطات مجال البخار : (vapor Phase Inhibitors) :

مثبط المجال البخارى هى عادة مركبات التى تنقل فى النظام المغلق إلى مكان التآكل بالتبخر من المصدر. فى الغلايات، مركبات التطاير القلوية مثل المورفولين (Morpholine) أو الإيثلين داى أمين (Ethylene Diamine) تنقل مع البخار لمنع التآكل فى أنابيب المكثفات بمعادلة ثانى أكسيد الكربون الحامضى. المركبات من هذا النوع تثبط التآكل بتحويل المجال الملاصق إلى الحالة القلوية. فى مساحات البخار المغلق مثل حاويات السفن، فإنه تستخدم مواد صلبة قابلة للتحويل إلى الحالة الغازية مثل مركبات:

(Nitric, Carbonate, and Benzoate Salts of Dicyclohexy Lamine, Cyclohexyly amine and Hexamethylene – imine).

آلية عمل المثبط بهذه المركبات يبدو فى أن الجزء العضوى فى الجزيء هو الذى يوفر التطاير . عند الالتصاق بسطح المعدن تتكثف أبخرة المثبط ويحدث لها التحلل بوجود أى رطوبة لإطلاق النيتريت، البنزوات أو البيكربونات. نظراً لوجود أكسجين وافر فإن أيونات النيتريت والبنزوات تكون قادرة على تحقيق المناعة للصلب كما تفعل فى المحلول المائى. آلية الكربونات قد لا تكون هى نفسها وهذا الجزء العضوى من الأمين

(Amine) لمثبط المجال المتطاير يمكن أن يعمل في مساعدة التثبيط بالادمصاص وبتوفير القلوية.

يكون المطلوب لمثبطات المجال المتطاير أن يوفر التثبيط بسرعة ويكون له الوقت للاستمرار. لذلك، فإن المركب يجب أن يكون له القدرة العالية على التبخر لتشبع كل المساحة المتاحة بأسرع ما يمكن وفي نفس الوقت يجب ألا يكون عالي التبخر حيث يمكن أن يفقد بسرعة خلال أي تسرب في الوعاء أو الحاوية المستخدم فيه. أقصى ضغط بخار (Vapour Pressure) لمثبطات المجال المتطاير عندئذ يجب أن يكون كافياً فقط بما يكفي استمرار تركيز المثبط على كل أسطح المعدن المعرضة.

ضغط البخار والخواص الأخرى لمثبطات المجال المتطاير موضع في الجدول التالي:

خواص ضغط البخار لمثبطات المجال المتطاير :

المركب	ضغط البخار ملليمتر زئبق عند 25م	ملاحظات
	0.0002	يحمي الصلب، الألومنيوم، الطلاء بالقصدير، يزيد تآكل الزنك، المغنسيوم، النحاس، يغير لون بعض مواد البلاستيك
	0.4	يحمي الصلب، الألومنيوم، اللحامات، القصدير، الزنك. يزيد تآكل النحاس، النحاس الأصفر والمغنسيوم

يلاحظ أن ضغط البخار للمركب الثانى فى الجدول 2000 ضعف المركب الأول أو أكثر بما يجعله اختيار مفضل للحاويات التى تفتح من آن إلى آخر ذلك بسبب أنها ستعيد تشبع المساحة المتاحة للبخار بسرعة. ولكن المركب الأول فى الجدول مفيد فى حالة الحاويات التى تكون مفتوحة مرة واحدة والتى يمكن أن تخزن لفترة زمنية طويلة. كمية مثبطات المجال المتطاير المطلوبة تتوقف على الحالات ولكن رطل واحد لكل 500 قدم مسطح من السطح اقترح للمركب الأول وواحد رطل لكل قدم مكعب من المساحة الفراغية للمركب الثانى. مثبطات مجال التطاير عدوانية على المعادن الغير حديدية لدرجات مختلفة، لذلك فإنه يقترح أن مستخدمى الجهد يقوموا باختيار عدة أنواع من تلك المثبطات لكل استخدام معين.

### الاستخدام التطبيقي للمثبطات

#### مصطلحات التركيز والكفاءة :

مثبطات التآكل تباع فى الشكل الصلب أو السائل. معظم الشكل الصلب يكون نقى نسبياً ولكن أحياناً يتم صهر المثبط الصلب مع مكون آخر أو أن يتعلق حيث يكون المطلوب التحكم فى معدل الإذابة. المثبطات السائلة عادة مفضلة لسهولة نقلها وقياسها وانتشارها. المثبطات السائلة نادراً ما تكون نقية لعدة أسباب. المثبطات العضوية نادراً ما يكون لها خواص قصوى لنقطة اللزوجة، التجمد والغليان، لذلك فإنها تذاب فى كمية مناسبة من المذيب للحصول على الخواص المطلوبة . عادة يتم خلط المثبط مع عامل مفكك الاستحلاب (Demulsifier) ، أو انتشار، أو منشط سطحى (Surfactant) ، مانع للرغوى (Anti foaming) أو عامل متعاون. المثبطات السائلة تباع بالجالون ، حيث جزء منها يكون مذيب كمية المثبط الموجودة يعبر عنها بنسبة النشاط (Percent Active) أى أن جالون من المثبط الذى يكون بنسبة نشاط 20% فإنه يحتوى على 20% بالوزن من المثبط.

عادة يتم مقارنة مثبطات التآكل على أساس كفاءة تثبيطها والتى هى نسبة انخفاض التآكل فى وجودها مقارنة بمعدل التآكل الذى يحدث فى حالة عدم وجودها. كفاءة المثبط تحسب من المعادلة التالية :

حيث :  $E =$  كفاءة المثبط.

$R_0 =$  معدل التآكل في عدم وجود المثبط.

$R_i =$  معدل التآكل في وجود المثبط.

يعبر عن تركيزات المثبطات بالجزء في المليون. بالنسبة للمثبطات الصلبة فإن الوحدات هي على أساس الوزن مثال رطل من المثبط لكل مليون رطل من السائل. بالنسبة للمثبطات السائلة تستخدم الأحجام مثال جالونات من المثبط لكل مليون جالون من السائل. للحصول على كمية المثبط المطلوبة لنظام معين يتم قسمه كمية السائل المطلوب تثبيطه على مليون ثم يتم الضرب في الجزء في المليون المطلوب.

حيث :  $Q =$  كمية المثبط المطلوبة.

$V =$  كمية السائل المطلوب تثبيطه.

$ppm =$  تركيز المثبط جزء في المليون.

**الحقن المستمر : (Continuous Injection) "**

الحقن المستمر لمثبطات التآكل يتم في النظم الإمرار الواحد Once Through (Systems) حيث المعالجة دفعة واحدة أو على دفعات لا يمكنها التوزيع المنتظم خلال السائل. تستخدم هذه الطريقة في إمدادات المياه، حقن مياه آبار البترول، مياه التبريد ذات التمرير الواحد، آبار البترول أو الغاز ذات الفراغ الحلقي المفتوح (Annulus) وآبار رفع الغاز. يتم ضخ المثبطات السائلة باستخدام طلمبة حقن الكيماويات. هذه الطلمبات يعتمد عليها إلى حد كبير وتحتاج إلى صيانة قليلة. معظم طلمبات حقن الكيماويات يمكن ضبطها بضخ المعدل المطلوب.

شكل آخر من الاستخدام المستمر وهو باستخدام مثبطات صلبة ذات الإذابة القليلة. هذا المثبط (مثل الفوسفات الزجاجي أو السيليكات، في شكل خرطوشة) يوضع في خط التدفق حيث يتم باستمرار إذابة المثبط من خلال مرور السائل خلال الخرطوشة. المثبطات في شكل أقراص أو أعمدة تستخدم في آبار الزيت والغاز للإمداد المستمر بالمثبط بإذابتها البطيئة الطبيعية.



### المعالجة ذات الدفعة الواحدة : (Batch Treatment) :

المثال المألوف للمعالجة ذات الدفعة الواحدة هو نظام التبريد للمركبة (الرادياتير). حيث تضاف كمية من المثبط مرة واحدة لتوفير الحماية لمدة طويلة. يمكن إضافة مثبط إضافي من آن إلى آخر أو أن السائل يمكن صرفه واستبداله بجديد . فى معظم نظم التبريد ذات الدائرة المغلقة يكون من المهم أن يتم قياس تركيز المثبط من آن إلى آخر لضمان استمرار المستوى الآمن.

المعالجة دفعة واحدة تستخدم كذلك فى معالجة آبار الزيت والغاز يتم تخفيف المثبط بكمية مناسبة من المذيب وحقنها فى الفراغ الحلقى للبئر المفتوح أو فى مواسير آبار الغاز التى لها حشوة مانعة للتسرب (Packer). فى هذه الاستخدامات يكون من المهم أن يلتصق المثبط بكل الأسطح وأن له ثبات جيد. معظم الآبار تتطلب المعالجة على دفعات كل حوالى أسبوعين.

### معالجة الكبس (Squeeze Treatment) :

معالجة الضغط أو الكبس هو طريقة للتغذية المستمرة بالمثبط فى بئر زيت البترول. يتم ضخ كمية من المثبط فى البئر ثم يليها مذيب كافى لدفع المثبط فى تكوينات التربة. المثبط يتم ادمصاصه بالتكوينات والتى تتسرب منها ببطئ لتثبيط السائل المنتج. الحماية المستخدمة بهذه الطريقة عرف أنها تستمر لعدة سنين.

### التطاير : (Volatilization) :

تم مناقشة التطاير بالعلاقة مع الغلايات والأوانى المغلقة باستخدام آخر هو استخدام التثبيط لتآكل الغاز المكثف . ولكن المعالجة هنا هى نفسها المستخدمة فى معالجة الدفعة الواحدة أو الكبس.

### التغطيات Coatings :

تستخدم المثبطات فى التغطيات المعرضة للهواء الجوى. عند التصاق الرطوبة بالطلاء، فإنه يتم غسيل بعض المثبط من الطلاء لحماية المعدن . لذلك فإن التثبط يجب أن يكون مذاباً بما يكفى غسيله بكميات كافية لحماية المعدن ولكن لا يكون شديد الذوبان

بحيث يحدث له الفقد السريع. من بين مثبطات الطلاء المعروفة هو كرومات الزنك (Zinc Chromate) والرصاص الأحمر (Plumbous Or Thophospate) الذى يوفر المناعة للصلب بتوفير أيونات الكرومات والرصاص بالتالى. هذه المثبطات ليست مؤثرة لعدوانية مياه البحر أو المياه عالية الملوحة ذلك لأن المحتوى العالى من الكلور يمنع حدوث المناعة للصلب.

من بين الحديث نسبياً الطلاءات الغنية بالزنك حيث تكون فيها جسيمات الزنك الدقيقة (تشبه طلاء الألومنيوم) والتي توفر الحماية الكاثودية إلى معدن الأساس بدرجة مؤثرة.

#### المشاكل المصاحبة لاستخدامات المثبطات :

يجب اختبار النظام بحرص قبل تخطيط برنامج تثبيط التآكل الاختبار يجب أن يشمل استطلاع أى تأثيرات ضارة قد يحدثها المثبط على العملية التى يستخدم فيها والتحليل للكشف عن وجود مواد متداخلة.

التأثيرات الضارة المحتملة التى قد تسببها المثبطات العضوية يرجع إلى طبيعتها القطبية (Polar Nature). متطلبات وجود مجموعات دالة فى المثبط والتى يتم ادمصاصها بقوة ، إلا أن ذلك يوفر لها درجة ما من خواص النشاط السطحى لذلك فإنها يمكن أن تسلك مثل الصابون أو مثل المنظفات مسببة رغاوى ومكونة مستحلبات ، أو قد تسبب ضعف ل تماسك الترسبات المتكونة (Scales) قبل بدء التثبيط ولا توجد طريقة معينة للمعرفة المسبقة ما إذا كان المثبط سيسبب أى من المشاكل السابقة.

#### الرغاوى : Foaming :

الأداء المناسب لتجنب المشاكل الناتجة عن حدوث الرغاوى هى بتعيين أين تحدث حالات الرغاوى فى النظام، هذه سوف تتكون فى الأماكن حيث يتم تقليب السائل المحتوى على المثبط مع غاز كما فى حالة جهاز فصل الغاز (Gas Separator) ، أو فى التجريد بالتيار المعاكس (Counter Current Stripping) أو فى أجهزة التهوية (Aerator). الخطوة التالية هى الحصول على عينة من السائل والغاز من مرحلة من العملية. يضاف المثبط . يتم ضبط درجة الحرارة التى تقابل تلك فى مرحلة العملية ثم يتم

التقليب العنيف. إذا حدث وجود رغاوى في هذه المرحلة فإن ذلك يعنى وجود مشكلة حادة.

توجد ثلاث بدائل للعلاج ، أولها يمكن إضافة عامل مضاد لحدوث الرغاوى (والذى يجب اختباره كذلك) ، ثانياً يجب عمل الاختبارات لاختبار المثبط الذى لا يسبب الرغاوى وثالثاً يمكن إيقاف العملية من آن إلى آخر والمعالجة بمثبط مرحلى أو مستمر. الطريقتين الأخيرتين هما الأقل استساغة.

#### المستحلبات : Emulsios :

المستحلبات مثل الرغاوى فى أنها تكون مجال واحد منتشر فى الآخر. المستحلبات تتكون من مجالين لسائلين لا يذوبا فى بعضهما. بينما الرغاوى تتكون من مجال سائل وغاز. الظروف المساعدة على تكون المستحلب هى وجود مجالين من السائل ، التقليب ، ومثبت المستحلب (Emulsion stabilizer) فى هذه الحالة، فإن مثبط التآكل يمكن أن يعمل كمثبت للمستحلب. لذلك فإن الطريقة هى مزج مجالين السائلين مع المثبط وقياس الوقت اللازم لهما للانفصال . إذا كان الوقت اللازم للانفصال أطول فى وجود مثبط التآكل عنه فى حالة عدم وجوده. فإن العلاج هو نفسه كما فى حالة الرغاوى . أضف مضاد للاستحلاب، استخدم مثبط آخر أو يتم التنشيط على مراحل أثناء التوقف.

#### إيجاد مشاكل تآكل جديدة :

تأثير ضار آخر محتمل بفعل التنشيط هو زيادة معدل التآكل للمعدن فى حالة استخدام المثبط. فمثلاً ، بعض مركبات الأمينات (Amines) تحمى الصلب ولكنها تحدث تآكل حاد فى النحاس والنحاس الأصفر. النيتريت (Nitrites) قد تحدث تآكل للرصاص وسبائك الرصاص للحام (Solders) . فى بعض الحالات قد يتفاعل المثبط فى العملية مسبباً نواتج ضارة. ومثال لذلك هو اختزال مثبطات النترال لتكوين الأمونيا التى تسبب التشقق بالإجهاد والتآكل للنحاس والنحاس الأصفر. الطريقة الوحيدة لتجنب هذه المشاكل هى بمعرفة المكونات المعدنية للنظام والمعرفة والتأقلم مع خواص المثبط المستخدم.

**الانتقال الحرارى (Heat Transfer) :**

الانتقال الحرارى عامل هام عند استخدام المثبطات. يجب تجنب حدوث الترسيبات (Scaling) على أسطح الانتقال الحرارى ، أو حدوثها عند أدنى حده الترسيبات التراكمية من الفوسفات، السيليكات الكبريتات يتم تجنبها، خاصة الأخير ذلك لأنه يصعب إزالتها بالطرق الكيماوية.

**التأثيرات السامة : (Toxic Effects) :**

يجب أن يؤخذ فى الاعتبار التأثيرات السامة للمثبطات فى العمليات حيث يمكن استنشاق المركبات أو دخولها إلى المعدة. يجب الحرص الزائد نحو تجنب استخدام المثبطات السامة فى أو قرب عمليات التصنيع الغذائى كما فى حالة مصانع الثلوج وفى إمدادات مياه الشرب.

**فقد المثبط :**

أحياناً يكون السبب فى عدم تأثير المثبط هو فقدده قبل التصاقه بأسطح المعدن أو إحداث التغيرات المطلوبة فى المجال. المثبط يمكن أن يفقد بالترسيب، الإدمصاص أو التفاعل مع مكونات النظام، أو أن يكون غير مذاب بدرجة كافية أو شديد البطئ فى الإذابة.

نماذج لفقد المثبط لهذه الأسباب هو ترسيب أملاح الفوسفات بأيون الكالسيوم وتفاعل الكرومات (Chromates) مع السلفيدات (Suplphides)، إدمصاص المثبطات على المواد الصلبة العالقة وحقق مثبط بطئ الذوبان بدون عامل تشتت مناسب (Dispersing Agent). لتجنب هذه المشاكل يجب اختبار المثبطات فى السائل الحقيقى المطلوب معالجته فى بيئة محاكاة. كلما أمكن ذلك يتم الاختبار فى تدفقات العملية أو فى تدفق جانبي صغير (Small Side Stream).

**الموجز :**

مثبطات التآكل العضوية والغير عضوية لمختلف النظم موضحة فى الجدول (4/5) ولكن مهندس التآكل يجب أن يقوم بعمل الاختبارات لأى عملية لتأكيد نجاح



استخدام المثبط. الغرض من الجدول (4/5) هو للمساعدة في اختيار المثبط المناسب والذي ثبت نجاحه في عمليات سابقة ولكن يوجد آلاف من مثبطات التآكل التي ثبتت نجاحها في بعض المجالات العدوانية. من بين كل مثبطات التآكل المعروفة فإن قليلاً منها الذي يحقق متطلبات التكلفة، عدم السمية، الإذابة، والثبات، التوافق.

جدول (4/5) بعض النظم والمثبطات التي استخدمت لحمايتها

النظام	المثبط	المادة المحمية	التركيز
مياه الشرب	$Ca (HCO_3)_2$	صلب/ زهر	10 جزء في المليون
	Polyphosphates	حديد/ زنك/ نحاس/ ألومنيوم	5-10 جزء في المليون
	$Ca (OH)_2$	حديد/ زنك/ نحاس	حتى رقم هيدروجيني (8)
	$Na_2 SiO_3$	صلب/ زهر / حديد حديد / زنك / نحاس	10-20 جزء في المليون
تبريد المياه	$Na_2 CrO_4$	حديد/ زنك/ نحاس	0.01 %
	$NaNO_2$	حديد	0.05 %
	$NaH_2 PO_4$	حديد	1 %
	حديد/ زهر/ $Ca (OH)_2$ صلب 10 جزء في المليون	حديد	0.2 %
الغلايات	$Na H_2 PO_4$	حديد/ زنك/ نحاس	10 جزء في المليون
	Polyphosphates	حديد/ زنك/ نحاس	10 جزء في المليون
	Morpholine	حديد	متغير
	Hydrazine	حديد	إزالة الأكسجين
	Ammonia	حديد	معادل
	Octadecy Lamine	حديد	متغير
المياه المالحة Brines	$Ca (HCO)_2$	حديد/ نحاس/ زنك	10 جز من المليون

النظام	المتبسط	المادة المحمية	التركيز
	$\text{Na}_2 \text{CrO}_4$	حديد/نحاس/ زنك	%0.01
	Soblom Benzoate	حديد	%0.05
	$\text{Na NO}_2$	حديد	%5 – Nail
المياه المالحة لأبار البترول	$\text{Na}_2\text{SiO}_3$	حديد	%0.01
	$\text{Na}_2\text{SO}_3$ (or $\text{SO}_2$ )	حديد	اختزال الأكسجين
	Imidazoline	حديد	10-25 جزء في المليون
	Formeldhyde	حديد	50-100 جزء في المليون
	Rosin Amine Acetate	حديد	5-25 جزء في المليون
مياه البحر	$\text{Na}_2 \text{SiO}_3$	زنك	10 جزء في المليون
	$\text{NaNO}_2$	حديد	% 0.05
	$\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$	ألومنيوم	يتوقف على الرقم الهيدروجيني
	$\text{NaH}_2\text{PO}_4 + \text{NaNO}_2$	حديد	10 جزء في المليون + % 0.05
مبرد المحرك	$\text{Na}_2 \text{CrO}_4$	حديد/ رصاص/ نحاس/ زنك	0.01 – 1%
	$\text{Na NO}_2$	حديد	0.1 – 1%
	Borax	حديد	1%
أحماض Hcl	Ethylaniline	حديد	0.5 %
	Mercatobenzothiazole	حديد	1%
	Pyridine + Phenyl hydrazine	حديد	0.5 % + 0.5 %

النظام	المثبط	المادة المحمية	التركيز
	Rosin Amine + Ethylene Oxide	حديد	%2
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	Phenylacridine	حديد	%0.05
Con H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> معظم الأحماض	NaI	حديد	200 جزء في المليون
	Thiourea	حديد	%1
	Sulfonated Caster Oil	حديد	%1 - 0.5
	As <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	حديد	% 0.5
	Na <sub>3</sub> As O <sub>4</sub>	حديد	%0.5
تكثيف البخار	Morpholine	حديد	متغير
	Ammonia	حديد	متغير
	Ethylenediamine	حديد	متغير
	Cyclohexylamine	حديد	متغير
الجو المغلق Enclosed Atmosphere	Cyclohexylamine Carbonate	حديد	1 رطل لكل 500 قدم مكعب
	Dichlorohexylamine Nitrite	حديد	1 رطل لكل 500 قدم مكعب
	Amyl Amine Benzoate	حديد	متغير
	Diisopropyl amine Nitrile	حديد	متغير
	Methycyclohexy lamine carbonate	حديد	متغير
مثبطات طبقة التغطية Coating Inhibitors	Zn CrO <sub>4</sub> (yellow))	حديد/زنك/نحاس	متغير
	CarO <sub>4</sub> (White	حديد/زنك/نحاس	متغير
	Red Lead	حديد	متغير





# **الفصل الخامس**

**مثبطات التآكل فى معامل  
التكرير والصناعات البتروكيميائية**





## مقدمة :

مثبطات التآكل في معامل تكرير البترول وفي الصناعات البتروكيميائية

### Corrosion Inhibitors In Refineries and Petro-Chemical Plants

التآكل في عمليات التصنيع للمواد الهيدروكربونية يمكن أن يقسم تجاوزاً إلى نوعين وهما الرطب والجاف. التآكل الرطب هو الذي يحدث في وجود الماء السائل. التآكل في عدم وجود الماء يعتبر تآكل جاف. التآكل الرطب طبيعي أن يكون في درجة حرارة منخفضة أى أقل من درجة الغليان أو نقطة الندى (Dew Point) للماء. درجة الحرارة هذه ستكون طبيعياً دلالة لضغط النظام وكذلك مكوناته. عمليات التآكل الرطب محدود عند حوالي 5232م كأكبر درجة حرارة. درجة الحرارة الأقل تتحدد طبقاً لمكونات السائل. لحدوث التآكل الرطب عند أى درجة حرارة يجب أن يوجد أما مجال مائي أو ماء كافى مذاب في مجال سائل لتوفير التوصيل الكهربى أو الخواص الأيونية لسائل مثل الهيدروكربون (Hydrocarbon) والذي ليس له هذه الخواص في عدم وجود الماء. التآكل الرطب عبارة عن عملية كهروكيميائية. التآكل الرطب يمكن مقاومته بأنواع المثبطات المسببة للمناعة (Passivating) ، أو التعادل (Neutralizing) أو الامصاص (Adsorbition).

التآكل الجاف له أهمية كبيرة في عدد من عمليات التكرير. وهو يشمل عدوانية كبريتيد الهيدروجين ومركبات الكبريت الأخرى على الصلب ومختلف السبائك عند درجات الحرارة المرتفعة. مثال آخر هام للتآكل الجاف في عمليات التكرير والعمليات البتروكيميائية تشمل العدوانية في أجواء درجات الحرارة العالية للاحتراق على الموانير المعدنية الحاملة للخامات والمنتجات في أفران التكسير (Cracking).

مثال آخر وهو عدوانية الهيدروجين عند درجة الحرارة المرتفعة والضغط المرتفع وذلك في عمليات الهدرجة Hydrogenation أو في عملية التهذيب الكيماوى لرفع الرقم الأوكتينى للبنزين (Reforming) وكذلك عند إنتاج الغازات المخلفة بالأكسدة الجزئية للهيدروكربونات. نظراً لأن هذه المشاكل شديدة الخطورة وحلها مكلف جداً، فإن الحل يتوقف على عوامل تصميمية وميتاليرجية.

## طبيعية السوائل العدوانية :

مثال لذلك المبادل الحرارى حيث تتكثف أبخرة النافثا فى الجدار أو الغلاف بواسطة مياه التبريد فى المواسير حيث يمكن حدوث التآكل فى كل من الجدار والمواسير. وبالمثل فإن معامل التكرير ومصانع المنتجات البتروكيماوية تنتج عادة كمياه ضخمة من البخار لكل من إنتاج الطاقة والاحتياجات الأخرى. سيتم مناقشة لتدفقات المجال المائى، مجال الغير المائى، (مجال الهيدروكربون) المجال الغازى.

## المجال الغازى Gasphase :

يتكون المجال الغازى من الهيدروكربونات الغازية بعمليات التقطير أو بعملية التكسير أو تحلل آخر للسوائل. مركبات الكبريت مثل كبريتيد الهيدروجين أو المركبتان (Mercaptans) أى الكحول الكبريتى الموجود عادة فى المجال الغازى قد تكون من مكونات تدفقات التغذية لوحدة المعالجة، مثال؛ تقطير الخام، حيث يمكن أن تتكون بالتحلل الحرارى المركبات (Thiophenes , Disulphides) .. الخ أو أن تكون نتيجة عمليات الهدرجة المختلفة مثل التكسير الهيدروجينى (Hydrocracking) ، الهدرجة لإزالة الكبريت (Hydrodesulfurizing) .. الخ. بالمثل فإن مركبات النيتروجين يمكن أن توجد فى الخام أو أن تكون نتيجة التحلل الحرارى أو الهدرجة للمركبات النيتروجينية إلى الأمونيا و/أو حامض الهيدروسيانيك. توجد مركبات الأكسجين مثل الأحماض الدهنية أو الأحماض النفثينية (Naphthenic Acids) الذى يحدث فى بعض الخامات. يتكون كلاً من أول أكسيد الكربون وثانى أكسيد الكربون أثناء تفاعلات الإصلاح أو إعادة التشكيل المختلفة (Reforming) بالإضافة إلى الناتج من الاحتراق و/أو تبخير العوالم الوسيطة بالبخار (Steaming of- Catalysts) . الأكسجين الحر يمكن أن يكون موجوداً بسبب تسرب الهواء وتحديداً فى المعدات عند الضغط المتوسط عند استخدام مضخات الطرد المركزى. يحدث التسرب الهوائى كذلك عند تخزين البخار المنتج عند الضغط الجوى قبل الاستخدام النهائى.



### مجال الهيدروكربون السائل :

هذا المجال يكون فى حالة اتزان حركى (Dynamic Equilibrium) تحت ظروف درجة الحرارة والضغط .. الخ. مع المجال الغازى الذى تم وصفه وكذلك المجال المائى الملتصق به. فى هذا الترابط ، يلاحظ أن إذابة سلفيد الهيدروجين وثانى أكسيد الكربون فى الهيدروكربونات هو أعلا مقارنة بذلك للأكسجين والنيتروجين. زيادة على ذلك ، فإن كبريتيد الهيدروجين عموماً له إذابة أعلا فى الهيدروكربونات عن الماء ، بينما العكس صحيح للأكسجين، ثانى أكسيد الكربون والأمونيا .. الخ.

### المجال السائل المائى : (Liquid Aqueous Phase) :

بسبب تقدم تفاعلات التآكل الكهروكيميائى فى المجال المائى فقط، فإن التركيب الكيماوى والخواص طبقاً للتركيب الكيماوى لهذا المجال له أهمية خاصة يجب أن تؤخذ فى الاعتبار. هذا المجال هو مائى بدرجة كبيرة. تدخل المياه فى وحدات عمليات التكرير المختلفة بطرق متعددة. من المهم هو الماء الذى يحتجز و/أو يستحلب فى شحنة الزيت الخام للتكرير أى المغذى لعمليات التقطير. هذا الماء ينتج مع الزيت الخام ويظل معه بالرغم من أجهزة الفصل فى حقول البترول، مصائد السائل فى خطوط الأنابيب .. الخ. رغم أن كمية المياه عادة صغيرة فى الحجم الكلى، إلا أن تأثيرها على التآكل يمكن أن يكون كبيراً، ذلك لأنها تحتوى عادة على نسبة عالية من الأملاح المذابة العدوانية، أساساً الكلوريدات للصوديوم والكالسيوم والمغنسيوم.

المصدر الآخر للماء هو من خلال حقن الماء أو البخار للمساعدة فى التقطير البخارى (Steam Distillation) لمختلف مشتقات البترول. تكثيف الأبخرة المتصاعدة لكل من بخار الماء والهيدروكربون ينتج عنه فصل طبقة الماء من الهيدروكربون المنتج . هذه الطبقة من المحتمل إعادة استخدامها فى التكرير. المجال المائى المكثف يحتوى على عدوانيات مختلفة والتى تحدث تآكل فى معدات التقطير والتكثيف.

المصدر الثالث الهام الآخر للماء هو مياه الغسيل أو المحلول المائى الملتصق بمختلف تدفقات المواد الوسيطة والمنتجات فى عمليات التكرير وتصنيع البتروكيميايات. وهذا

يشمل استخدام مختلف عمليات الاستخلاص (Extraction) مثل الفيرفورال (Furfural) في إنتاج مواد التزليج ، الايثانوال أمين (Ethanolamines) في تنقية الغاز .. الخ. كل يستخدم المجال المائي للمواد المستخلصة.

المجال المائي يكون دائماً في لتزان حركي (Dynamic Equilibrium) مع السوائل الأخرى الملتصقة. نظراً لطبيعته كاذب عالمي فإن المجال المائي عادة يحتوى على نوعيات كثيرة من السوائل المذابة، الغازات ، المواد الصلبة العضوية والغير عضوية. المواد المذابة في الماء هي التي تحدد عدوانيتها على معدة التصنيع. غالباً ما تكون أهم صفة للمجال المائي من وجهة نظر التآكل هي الرقم الهيدروجيني (pH - Value) مع بعض الاستثناءات معظم التآكل الصناعي في وحدات تكرير البترول وخلافة يكون تآكل بفعل الحامض ، أى العدوانية عند رقم هيدروجيني منخفض على المعادن النشطة مثل الحديد ، النحاس ، الزنك ، الألومنيوم وسبائكهم. صلب التسليح العادي يمكن اعتبار أن له نفس خواص مقاومة التآكل مثل الحديد في المجال الحامضي.

### تآكل الصلب :

الصلب غير مستقر في الأحماض بدرجة كبيرة، كما يتوقع من وضع الحديد في تسلسل الجهد للمعادن. في عدم وجود مثبطات يزداد معدل التآكل بشدة عند انخفاض الرقم الهيدروجيني لأقل من (7). عند رفع هيدروجيني أعلا من (7) فإن الصلب يكون مستقراً مع زيادة الرقم الهيدروجيني، حتى قيمة (13) وعند رقم هيدروجيني أعلا وبالتحديد عند ارتفاع درجة الحرارة يحدث التآكل بسبب ضعف خاصية الأمفوتيرية للحديد (Amphoteric) وهي خاصية ثنائية الشحنة أو حامضي قلوي.

من وجهة النظر العملية معادلة المحاليل الحامضية إلى رقم هيدروجيني 6 - 8 يكون مناسب لخنق العدوان المباشر على الصلب. ولكن عند تدعيم التعادل بالمثبطات فإنه يمكن تحقيق الحماية من التآكل عند رقم هيدروجيني ما بين 5 إلى 6. (نعني بهذا النظم ذات المحتوى المنخفض أو الخالية من الأكسجين وهذه هي عادة ظروف عمليات تكرير البترول).

تحدث الحموضة فى سوائل التكرير بإذابة الغازات الحامضية فى المجال المائى مثل كبريتيد الهيدروجين، حامض الهيدروسيانيك، وثانى أكسيد الكربون بواسطة الأحماض العضوية الدهنية والأحماض المعدنية وأحماض النافثا (Naphthenic Acids). والأساسى من بين الأحماض المعدنية حامض الهيدروكلوريك والذى يتكون فى عمليات التكرير بالتحلل الحرارى (Thermal Decomposition and Hydrolysis) لكوريدات المغنسيوم والكالسيوم التى لا تزال فى عمليات إزالة الأملاح (Desalting). وقد يظهر كذلك كمكون أو كمنتج ثانوى فى مختلف العمليات البتروكيمياوية للكلورة والألكلة (Alkylation) (وهى عملية استبدال شق هيدروكربونى اليافنى بالهيدروجين فى تركيب عضوى). عموماً تزداد عدوانية الحامض بزيادة كمية الأحماض الكلية المذابة أو بخفض الرقم الهيدروجينى. ولكن هناك استثناء وهو أن الأحماض الضعيفة مثل حامض الهيدروسيانيك وسلفيد الهيدروجين وثانى أكسيد الكربون أشد عدوانية بالنسبة للصلب عن تأثير انخفاض الرقم الهيدروجينى كذلك توجد استثناءات هامة مثل التكسير الهيدروجينى (Hydrocracking) وفى وحدات الإيثانول أمين (Ethanamine) حيث يمكن أن يتآكل الصلب عند رقم هيدروجينى مرتفع. فى هذه الحالات فإن طبقة الحماية الطبيعية من كبريتيد الحديد والأكسيد يتم تدميرها بتكوين مركب معقد من الحديد مع مركبات النيتروجين مثل السيانات التى تكونت عند هدرجة الزيت الخام أو بتحلل وتكسر منتجات الإيثانول أمين (Ethanamines).

#### تآكل سبائك النحاس :

بعد الصلب فإن المعدن ذو الأهمية فى التكرير عند درجة الحرارة المنخفضة (أى أقل من درجة حرارة الفرن) هو النحاس ، عادة يكون فى شكل سبائك مثل (Admiralty)، المونيل (Monel) بالإضافة إلى النحاس على التوصيل الحرارى وسبائكه والتى تعتبر متفوقة عن الصلب فى مقاومة التآكل فى المجالات مثل الأحماض المخففة، المياه المالحة والخمضاء (Brakish) وفى وجود مركبات الكبريت. نظراً لأن النحاس وسبائكه له قوة أقل واستعمال أكثر وأسعاره أعلا عن الصلب الكربونى، فإن استبدال الصلب بسبائك النحاس يجب أن يكون بسبب المحافظة على المادة و/أو تحسين العملية الصناعية



رغم أن النحاس عموماً أكثر مقاومة لتدفقات أحماض التكرير عن الصلب ، إلا أن تأثير الرقم الهيدروجيني على تآكل النحاس أكثر منه بالنسبة للصلب. من الضروري المحافظة على ضبط الرقم الهيدروجيني مقارباً بسبب إذابة النحاس وسبائكته عند رقم هيدروجيني مرتفع تحت بعض الظروف. عند الرقم الهيدروجيني المنخفض فإن العامل الآخر مثل وجود الأكسجين وسرعة السائل له أهمية بالنسبة لتآكل النحاس. عند رقم هيدروجيني مرتفع في وجود الأمونيا وبعض الأمينات (Amines) تتكون مركبات النحاس المعقدة المذابة والتي تؤثر على إذابة النحاس. يلزم الاحتياطات الخاصة كما تم شرحه.

#### مثبطات التآكل للتعاادل : (Neutralizing Corrosion Inhibitors)

نظراً لأن التآكل يعرف بأنه نتيجة عدوانية الحامض على المعادن، لذلك فإن إزالة أو معادلة الأحماض يعتبر حل واضح لمشكلة التآكل. نظرياً أى مادة قلوية لمعادلة الحامض ورفع الرقم الهيدروجيني ستكون كافية ، ولكن عملياً فإن الموقف معقد لأسباب أخرى. وهذا واضح في حالة جهاز إزالة الأملاح (Desalter) والذي هو عادة وحدة المعالجة الأولى في عملية التكرير. ومهمته هي خفض المحتوى من رواسب القاع والماء من شحنة الزيت الخام قبل دفعها إلى وحدة التقطير. كما سبق توضيحه الماء (عادة الماء المالح) يسبب التآكل في الوحدات تحت التيار لوحدة إزالة الأملاح نتيجة تحلل (Decomposition) الكلوريدات إلى حامض الهيدروكلوريك عند درجة حرارة المعالجة العالية. إضافة القلوى إلى مزيج الأملاح لخفض التحلل لكلوريد الكالسيوم والمغنسيوم يحقق خفض المنتج من حامض الهيدروكلوريك وبالتالي ينتج عن ذلك ( أن يكون حامض الهيدروكلوريك المتكون أقل في مقطر الخام العلوى ... الخ.

القلويات المعادلة (Neutralizers) ذات التكلفة المنخفضة مثل كربونات الكالسيوم الصودا آش ، عادة تسبب مشاكل الترسيب القشري (Scaling) بسبب ترسيب الإيدروكسيدات الغير مذابة و/أو الكربونات للمغنسيوم والكالسيوم بالتفاعل مع تلك الأيونات في الماء المحجوز بواسطة جهاز إزالة الأملاح. ولكن استخدام إيدروكسيد الصوديوم الغير مسبب لحدوث تلك الترسيبات مازال يستخدم حتى الآن فى . عمليات



إزالة الملوحة، لذلك فإنه يضاف بكميات تقارب المحتوى من الكلوريد فى مياه مزبل الأملاح.

بعض المصانع حالياً تحاول استغلال القلوية العالية فى مياه صرف الغلايات (Boiler Blow Down) لتغذية وجدة إزالة الملوحة. والبعض الآخر يستخدم المياه الخارجة وعالية الرقم الهيدروجينى من أجهزة تجريد (Stripper) المياه الحامضية بفعل وجود كبريتيد الهيدروجين. ولكن خطورة هذا العمل تشمل مشاكل تكون قشور الترسبات من أملاح الكالسيوم والمغنسيوم عند رقم هيدروجينى مرتفع وحدث الرغاوى عند القلوية العالية و/أو وجود مواد النشاط السطحى. هذه الرغاوى (الزيت) بسبب السحب المتقطع لمياه رديئة من جهاز إزالة الملوحة.

الوحدة الأولى فى مجال التكرير التى تلى جهاز إزالة الملوحة هى تقطير الخام (Crudestill) والذى يحدث فصل تقريبى طبقاً لمجال الغليان لمختلف تدفقات التقطير مثل النافثا، الكيروسين، زيت الديزل.. الخ. الأبخرة المكثفة يتم تكثيفها عند نقطة واحدة أو أكثر وتؤخذ المنتجات طبقاً لنسب الرجوع المطلوبة (Desired Reflux Ratio) .. الخ. السوائل المكثفة قد تحتوى على مكونات الأحماض المذابة مثل حامض الهيدروكلوريك كبريتيد الهيدروجين وتكون عدوانية على المعادن الملتصقة بالسوائل.

يمكن توقع حدوث التآكل بمجرد الوصول إلى نقطة الندى للماء، لذلك فإن كيماويات المعالجة يجب أن تضاف فوق التيار لنقط التكثيف الأولى. رغم استخدام مختلف مواد التعادل سابقاً ولكن الاتجاه الحديث للتدفقات العليا أصبح محدوداً بالأمونيا وبعض الأمينات ذات الوزن الجزيئى المنخفض مثل (Morpholine) أو (Cyclohexylamine) والتى تضاف إما كسوائل غير مخففة أو كأبخرة أو كمحاليل مائية.

الأمونيا هى المادية الأكثر استخداماً بسبب قوة تعادلها العالية، انخفاض تكلفتها، وسهولة وملاءمة تداولها. الأمونيا يمكن حقنها كسائل تحت ضغط الأسطوانة وانتشارها فى المجال الغازى المقطر الخام. عند تكثيف الأبخرة فإن الأمونيا تذوب فى المياه المكثفة بما يسبب زيادة فى رقمها الهيدروجينى مع تكثف مياه إضافية أسفل التيار للنقطة

الأولى ، فإنه سوف يحدث حالة إتزان (In Equilibrium) مع غاز الأمونيا في الهيدروكربون المكثف وأبخرة الماء.

رغم المزايا التي تم ذكرها، إلا أن استخدام الأمونيا له عدة سلبيات. فإضافة الأمونيا قبل التعادل أى عند رقم هيدروجيني أقل من (7) يعتبر خطيراً وذلك فى حالة وجود سبائك النحاس فى نظام التكثيف أو أسفل تيار هذا النظام فى عملية سحب المياه.

عند رقم هيدروجيني أكبر من 7 إلى 8.5 (طبقاً للمصدر) فإن النحاس يكون مركب معقد يسمى (Cuprammonium complex) حيث يكون من المتوقع تلف مثل هذه المواد. وبالمثل فإن بعض الأمينات ذات الوزن الجزيئى المنخفض يمكن أن تكون مركبات معقدة مع النحاس.

التحكم فى الرقم الهيدروجيني أصبح متاح باستخدام أجهزة القياس والتسجيل والتغذية الآلية. استخدام هذه الأجهزة حقق وفرة فى حقن الكيماويات وزيادة كفاءة مقاومة التآكل.

سلبية ثانية لاستخدام الأمونيا هى تكون رواسب (Deposits) من كلوريد الأمونيوم والتي تسبب مشاكل ترسيب الأوساخ والملوثات (Fouling Problems) بما ينتج عنه انخفاض فى معدل التدفق وفى الانتقال الحرارى. الغسيل المتقطع أو المستمر بالماء وهو المفضل يمكن أن يزيل الرواسب. كذلك فإن تلك الترسبات يمكن أن تسبب تآكل معدن الأساس، بالإضافة إلى أن التآكل يمكن أن يحدث فى عدم وجود المجال المائى، وهو حدوث غير عادى فى ظروف تكرير البترول. ولكن بعض الأبحاث أثبتت أن استخدام الأمينات ذات الوزن الجزيئى المرتفع والتي لا تكون رواسب كلوريدات من كل من مجال الهيدروكربون والمجال المائى والتي لها قوة درئ عالية (Buffer) مقارنة بالأمونيا والمورفولين. هذه المواد تمكن من سهولة التحكم فى الرقم الهيدروجيني كما أنها تحد إلى درجة كبيرة من خطورة تآكل النحاس عند رقم هيدروجيني مرتفع (أكبر من 7.5 فى وجود الأمونيا أو الأمينات).

#### المثبطات المكونة للطبقة (Filming Inhibitors) :

عمليات التكرير وتصنيع البتروكيماويات تستخدم عديد من المثبطات التى تكون طبقة حماية تحت مختلف الظروف. آلية أداء كل المواد واحدة وتتطلب إدمصاصها على

المعدن خلال مجموعتها القطبية (Polar Group) أو الرأس. الذيل الغير قطبي لجزئ المثبط يتوجه في اتجاه عمودى عادة على سطح المعدن. من المعتقد أن ذبول الهيدروكربون تتشابك مع بعضها البعض مكونة طبقة مدمجة الطاردة للسوائل المائية، مكونة حائل ضد التآكل الكيماوى والكهروكيميائى للسوائل على معدن الأساس. التأثير الآخر هو الامتصاص الطبيعى لجزئيات الهيدروكربون من سوائل العملية بزيول الهيدروكربون لجزئيات الهيدروكربون المتميزة، هذا يزيد كلاً من السمك وتأثير الحائل الطارد للماء (Hydrophobic Barrier) بالنسبة للتآكل.

بناء على ما تم شرحه، فإنه يمكن معرفة لماذا تلك المثبطات أكثر تأثيراً في وجود المجال الزيتى (Oil Phase). فى الواقع، إنه يكون من الصعب عادة استخدام مثبطات الطبقة بشكل مؤثر واقتصادى فى عدم وجود مجال الزيت. اختيار المثبط المناسب لاستخدام معين هو مشكلة عملية وليست نظرية. توجد المثبطات ذات مجال كبير للإذابة وخواص طبيعية أخرى. التركيزات التى تستخدم عندها عموماً حوالى 10 جزء فى المليون طبقاً لمجال الهيدروكربون. رغم وجود كثير من المثبطات القطبية فى المراجع العلمية ، إلا أن الأكثر استخداماً فى تكرير البترول يحتوى على النيتروجين القاعدى مثل الأمينات (Amines , Diamines , Pyrimidines) وأملاح هذه المركبات أو مركباتها المعقدة (Complexes) مع الأحماض الدهنية، الأحماض النفثينية (Naphthenic Acids) والسلفونيت (Sulphonates). المثبطات تختلف فى درجة الإذابة .. الخ. وكذلك يجب اختيارها بما يتلاءم مع مجال الرقم الهيدروجينى والخواص الأخرى للسائل.

عوماً، من الناحية الاقتصادية يلزم خفض كل أو جزء من محتوى الحامض للتدفقات المعالجة بالأمونيا أو عامل تعادل آخر ثم تقوية ذلك باستخدام المثبط المكون للطبقة. كمثال ، 5 جزء فى المليون من المثبط المكون للطبقة عند رقم هيدروجينى 5.5 يعتبر مؤثر عادة واقتصادى فى المعالجة. عند رقم هيدروجينى منخفض يلزم مثبط مضاعف عدة مرات، بينما عند رقم هيدروجينى مرتفع يجب مراعاة ترسيبات كلوريد الأمونيوم.

المثبطات المكونة للطبقة تتميز عن الأمونيا والأمينات المتطايرة الأخرى فى أنها تعتبر غير متطايرة ، لذلك فى أى عملية لفصل الغاز عن السائل فإنها تظل مع السائل



حيث يمكن تركيزها في الأجزاء الثقيلة من عملية التقطير. هذا يعنى أن المثبطات يجب أن تحقق بمعدة مناسبة عند نقطة الاستخدام. في حالة حدوث مشكلة تآكل أخرى عند تحت التيار للوحدة. قد يكون من الضروري حقن مثبط إضافي لحماية الوحدة الثانية. تأثير المعالجة بالمثبط في مقاومة التآكل يتم متابعته بسهولة في نظم تكرير البترول باستخدام عينات اختبار التآكل ، أو أجهزة قياس التآكل ، أو مجسات مقاومة التآكل أو بتحليل تدفقات العملية بالنسبة للمعدن المذاب.

#### معدة الاستخدام :

كما سبق التأكيد عليه فإن المثبط لا يمكن أن يكون مؤثراً إلا إذا ملتصقاً جيداً مع سطح المعدن المعرض عند التركيز المطلوب وعند نقاط العدوانية. نظراً للتركيزات المنخفضة جداً المطلوبة للمثبط، حتى أن تدفقات من آلاف براميل في اليوم تحتاج إلى عدة جالونات قليلة من المثبط، المثبط . يتم تخفيفه بمذيب مناسب ثم حقنه في التدفقات (Streams) عند الأماكن المطلوبة بواسطة طلمبة حقن كيماويات صغيرة والتي يمكن أن تقاوم ضغط الوحدة تحت التشغيل. ولكن في العادة يكون من المناسب تخفيف المثبط بتدفقات المنتج الذي سيتم حقنه. يمكن استخدام مضخة مناسبة، أو تدفق جانبي من الوحدة تحت التشغيل. كذلك فإن الحجم الزائد من حلول المثبط الذي يتم حقنه يزيد من كفاءة الخلط في تدفقات العملية وكذلك يزيد من تجانس المعالجة. توجد معدات خاصة مثل (Guills) تستخدم لحقن المثبط كنقاط صغيرة أو كضباب في التدفقات الغازية ولتحقيق تجانس أكثر من الانتشار. وهذا هام عندما يكون المطلوب في معالجة الغاز أكثر منه في حالة السائل.

من بين الأبحاث الجديدة هو استنباط صيغة تشمل كلاً من مثبطات التعادل والمثبطات المكونة للطبقة في وعاء واحد والجمع بين المثبط والمضاد لتراكمات ولترسيبات القانورات (Antifoulant).

#### اعتبارات خاصة في استخدام مثبطات التآكل في معامل التكرير :

المثبطات المكونة للطبقة والمسببة للتعادل في معامل التكرير للبترول لا توفر علاج لكل المشاكل. المعالجة الكيماوية لمنع التآكل هي من بين الأدوات المتعددة التي يستخدمها المتنافسون كطريقة لمقاومة التآكل بديلة لإجراءات أخرى مثل المواد الخاصة ذات



المقاومة، طبقات التغطية للحماية، اعتبارات التصميم وخلافة ... الخ. وقبل مناقشة فوائد وعيوب الإجراءات المختلفة للحماية، فإنه سوف يتم تناول بعد المحددات لتجنب المثبطات.

### حدود درجة الحرارة :

المثبطات المكونة للطبقة تحتوى على جزيئات عضوية حيث الكربون متصل بالكربون ، الكربون بالهيدروجين، الكربون بالنيتروجين بأربطة وهكذا. عادة شأنها شأن الجزيئات العضوية الأخرى تتحلل وتتفكك بالحرارة . وقد سبق أن قلنا أن المثبطات يوصى بها فقط لدرجة الحرارة المنخفضة حيث نعى بهذا التآكل فى وجود الماء. هذا بالإضافة إلى أن المثبطات المكونة للطبقة تعمل خلال عملية إدمصاص والتي عموماً يصبح تأثيرها أقل عند درجات الحرارة المرتفعة ، حيث تحتاج إلى جرعات معالجة أعلا لاستمرار الطبقات المؤثرة على أسطح المعدن. وهذا يزيد من استهلاك كيماويات المعالجة. عند درجة حرارة أعلا من 230-5260م يمكن القول أن مثبطات تكون الطبقة لها استخدامات محددة، رغم أنه يمكن استخدامها عند درجات الحرارة الأعلى.

تفاعلات الترسيبات من القاذورات (Fouling) التي تحدث فى المجال ما بين 150 - 5370م تسبب مشاكل كثير منها يمكن علاجه باستخدام الكيماويات المزيلة لهذه الترسيبات (Chemical antifouling). عند درجة حرارة ما بين 370 - 5430م الخبرة محدودة نحو استخدام.

### التركيز الغير كافى :

كثيراً من المثبطات سواء المسببة للمناعة أو المكونة للطبقة يمكن أن تصنف بأنها مثبطات خطرة ذلك لأنها يمكن أن تحدث زيادة فى التآكل الموضعى وتآكل تقبى مقارنة فى حالة عدم المعالجة بها وذلك عند استخدامها بكميات غير كافية لتكوين طبقة مقاومة مؤثرة. لهذا السبب ، فإنه لا ينصح بخفض تكلفة المثبط من خلال الجرعة دون المستوى الأمن.

فإذا كان الحديد هو المستخدم لقياس ناتج تفاعل المثبط، تكون الزيادة الأولية عند بدء المعالجة عادة بسبب النظافة للأسطح التي عليها الترسيبات، والتي تنخفض فوراً بمعدل أقل من ذلك قبل المعالجة. في حالة خلاف ذلك، عندئذ فإنه يكون إما المستخدم من المثبط قليل جداً، أو أن المثبط لم تتم إضافته بالشكل الذي يمكنه من الوصول إلى المعدة المتأكلة.

في التطبيقات العملية الحقيقية يضاف المثبط عادة بتركيزات 5 إلى 10 أضعاف القيمة النهائية الموصى بها. التركيز العالي يقلل من الزمن اللازم للتخلص من الترسيبات القديمة وكذلك يعجل الوصول إلى طبقة جيدة على السطح النظيف. ينخفض التركيز بعد ذلك تدريجياً، حتى الوصول إلى المستوى المطلوب للتنشيط بتكلفة اقتصادية (كما يتم توضيحه بعينات الاختبار، مقاومة مجسات الاختبار، تحاليل الماء).

#### خاصية النشاط السطحي للمثبطات (Surfactant Properties of Inhibitors) :

كما سبق توضيحه فإن تأثير مثبطات تكون الطبقة يتوقف على الانمصاص القوى لجزيئات المثبط في نقطة التقابل (Interface) بين سوائل العملية، سطح المعدن المطلوب حمايته. إنه عادة لمواد النشاط عند تقابل الصلب/ السائل أن تكون نشطة كذلك في مجال السائل/ السائل أو الغاز / السائل. في الحالة الأولى قد تسبب مشاكل استحلاب ، الأخيرة قد تسبب الرغاوى والزبد، مشاكل الاستحلاب واضحة في سحب المياه من معدات التكرير في صناعة البتروكيماويات كمثال. فصل الزيوت والقار من نظام الماء لتبريد الإيثيلين.

من المهم جداً عند تكرير المنتجات مثل وقود النفاثات هو الاستحلاب لكميات صغيرة من الماء في المنتج. الماء يمكن أن يدخل النظام بسبب أحواض التخزين والتي تتنفس جو رطب أو الحاملة للمياه في القاع أو التلوث الناتج عن التداول الغير حذر. الماء الذي يدخل في نظم تخزين وقود النفاثات يصعب إزالته بالتروسيب أو الاندماج (Coalescers) عند وجود المثبطات في النظام.

بسبب الضرر الناتج عن استحلاب المياه المسبب لتنشيط نمو البكتريا في أنقاب حقن وقود النفاثات وفي انسدادها وتجميد الوقود، فإن مشطرى الوقود تكون لهم مثبطات حاسمة

بالنسبة لهذا الماء وكذلك تأثيرها على الوقود. وهذا يتحدد بواسطة مخطط جهاز فصل المياه (ASTM Water Separator Index) ، أساساً المخطط يوقع وجود الماء المستجلب و/أو نقاط الماء المحتجزة في وقود النفائات مع عكارة الوقود مقاساً في ظروف قياسية يتم التحكم فيها. تأثير مثل مواد النشاط السطحي هذه كمثبطات للتآكل يمكن تحديده بهذا الاختبار. لا يمكن التعميم نحو تأثير مادة معينة على وقود معين، ذلك لأن الوقود نفسه به آثار من مواد قضيبة (أيونية - Polar) والتي يمكن أن تعمل كمثبطات، مثل آثار المواد هذه تكون موجودة في إمدادات الخام.

اختبار المستجلبات أو مزيلات الاستحلاب (Demulsifiers) هو مجال مبنى على الملاحظة والاختبار ويتطلب أن المستحلب المطلوب تقيمه مع مواد معينة يتطلب عمله أو تكسيره. نظراً لوجود كثير من مثبطات التكرير التجارية، فإنه عادة يمكن معرفة المؤثر كمثبط للتآكل مع إنتاج أقل استحلاب أو الذي يمكن تطويره بعامل تكسير الاستحلاب بدون فقد خواصه كمثبط للتآكل.

الاعتبارات الاقتصادية للمثبط الكيماوى وإجراءات أخرى لمنع التآكل :

عند مناقشة مختلف الإجراءات لمنع التآكل، من المفيد اعتبار التآكل الناتج عن السائل المائى على المعدن له ثلاث متطلبات.

✓ عدوانية السائل.

✓ نشاط المعدن واستعداد التآكل.

✓ مدى الالتصاق الجيد بين المعدن والسائل.

نظم المقاومة التى هى تغيير المعدن أو المجال الملاصق أو وجود حائل بينهما لمنع التصاقهما. إلا أنه من الطبيعى الجمع بين اثنين أو أكثر من هذه الطرق لتوفير أحسن النتائج.

تغيير المعدن :

نشاط المعدن يمكن تغييره إلى حد ما بالتغير في معالجته الحرارية أو التغيرات القليلة في مكوناته ، ولكن لحدوث اختلاف واضح في مقاومة التآكل، فإنه يكون مطلوب معدن

مختلف تماماً. لذلك، فإن الصلب الكربوني يمكن أن يستبدل بالبرونز أو بأحد أنواع الصلب المقاوم أو بسبائك أخرى. ولكن التكلفة يجب أن تؤخذ في الاعتبار. ولكن رغم التكلفة العالية للسبائك والمعدن الغريبة مثل سبائك ومعادن التيتانيوم والزركونيوم والتنتالام (Tantalum) ، إلا أنه توجد ظروف كثيرة مثل درجات الحرارة المرتفعة والمنخفضة (Gryogenic) ، الضغط العالي للهدرجة، بيئة درجة الحرارة العالية للأكسدة وحالات أخرى حيث زيادة تكلفة المعادن كبيرة تكون مبررة. عموماً تلك المواد المكلفة لا يتم استخدامها بدون التقدير المعمل المتقن للخواص الكيماوية والطبيعية وخواص التآكل وكذلك الخبرة الحقلية في وحدات التجارب النصف صناعية (Pilot- Plant) ولكن من المعروف أن التلف يحدث عادة بسبب عدم القدرة على ازدواج ظروف التعرض الحقيقية في العمل ونفس الظروف في وحدة التجارب النصف صناعية. مثل هذا التلف يمكن أن يكون مكلف جداً وفي كثير من الحالات يكون مأساوي أي لا يعطى أي تحذير عن اقتراب حدوثه بما ينتج عنه فقد كبير في المنتجات والمعدات وزمن الإنتاج وحتى للحياة.

### عوازل منع التآكل (Corrosion Prevention Barriers) :

مختلف مواد التغطية والتبطين والتغليف أو التصفيح (Cladding) هي نماذج لمقاومة التآكل بالعوازل التي تفصل البيئة العدوانية عن المعدن الذي يتآكل. بينما أن تكلفة هذه النظم مرتفعة (نادراً ما تكون مرتفعة مثل السبائك المقاومة) إلا أن عمرها محدود. كما في حالة المعادن فإن التغطية والتبطين يتم تقييمهم في العمل وفي الموقع تحت ظروف مقارنة لظروف الخدمة ما أمكن. السبب الرئيسي لتلف العازل ليس بسبب المقاومة الطبيعية للعازل نفسه ولكن بسبب العيوب في عملية وضعه وتطبيقاته على جسم المعدن ، مثل الثقوب في الشروخ أو عدم استمرار التلاصق للعازل بأي شكل. وهذه العيوب قد ترجع إلى التلف الميكانيكي الذي لا يمكن تجنبه بالإضافة إلى عدم الاستخدام الجيد لطبقة التغطية أو البطانة. وهذا بسبب التآكل ليس فقط للنقاط المعزولة على المعدن العاري الغير محمي، ولكن كذلك على طبقة التغطية نفسها وذلك بالقطع السفلي حول العيوب.

طبقات التغطية تستخدم عادة على الأسطح الخارجية أو الأسطح الداخلية للأوعية ذات الحجم الذي يسمح بملاحظة ظروف التغطية بالنظر على مراحل واستبدال العيوب. ولذلك



فإن تلف طبقة التغطية نادراً ما يسبب تلف خطير في استخدامات التكرير. هذا بالإضافة إلى أن طبقات التغطية وخاصة ذات الأساس العضوي، لا تستخدم تحت الظروف القصوى لدرجة الحرارة والضغط والمجال الكيماوى مثل سبائك التكرير (Refinery alloys).

### بدائل المجال العدواني (Alfervatives of Corrosive Environment) :

استخدام أمينات التعادل (Neutralizing Amines) للتآكل الحامضى فى عمليات التكرير هي مثال لتبديل المجال. استخدام الأمينات المكونة للطبقة (Filming Amines) يمكن اعتباره كتجميع بين التغير فى المجال والعزل الواقى، فمثلاً، طبقة المثبط المتمزّه المكمل لطبقة الزيت الممتصة.

المعالجة الكيماوية باستخدام مواد التعادل و/أو مثبطات الطبقة يتم تصنيفها فى المعمل واختبارها فى المصنع لتقييم بيانات المعمل.

فى هذا المجال فإن مميزات المعالجات الكيماوية هي أن كفاءة المعالجة يمكن تتبعها بسهولة وبتكلفة قليلة فى المصنع حيث يمكن عمل أى تعديل مطلوب سريعاً فى حالة عدم ملاءمة المعالجة الأصلية. نظراً لسهولة وحساسية وسرعة الطرق المستخدمة فى مراقبة ورصد معالجات المثبط فى الموقع ، إلا أن هناك احتمال فقد فى المعدة أو فى الكفاءة أو حدوث تلف شديد. عموماً كل ما هو مطلوب هو باستخدام حجم اسمى من الكيماويات، معدات التغذية المناسبة وتجهيزات قياس التآكل.

### التآكل فى وحدات معالجة الغاز (Corrosion in Gas Processing Units) :

زاد الاهتمام بالتآكل فى وحدات إزالة كبريتيد الهيدروجين (Sweetening) من الغاز وفى وحدات المعالجة الأخرى زادت أهمية مع نمو صناعة الغاز الطبيعى وزيادة حجم مصانع التكرير والبتروكيمياويات البعيدة عن الغاز والمنتجات الخفيفة مثل الإيثيلين ومع عدد من العمليات لمعالجة تلك الغازات. فإن المكونات الحامضية مثل ثانى أكسيد الكربون وكبريتيد الهيدروجين عادة يتم إزالتهم من الغاز الطبيعى فى وحدات التنقية المركزية الحقلية قبل نقل الغاز وبيعه ، كذلك فإن هذه المكونات يجب أن تزال من تدفقات الغاز من

المصنع، كما في حالة تدفقات لتكسير الهيدروكربون (Hydro carbon Cracking) لإنتاج الإيثيلين ، وذلك قبل تعرض الغازات إلى التجزئة (Fractionation) ذات درجة الحرارة المنخفضة. في إنتاج الغاز المخلوق لتحويله إلى الأمونيا أو إلى الميثانول ، كمثال ، فإنه عادة يكون من الضروري إزالة ثاني أكسيد الكربون المتكون بالاحتراق الجزئي للهيدروكربونات أو بعملية تفاعل الغاز مع الماء لإزالة ثاني أكسيد الكربون.

تم تطوير كثير من عمليات تنقية الغاز خلال العقود الماضية لتنافس العمليات القديمة لإزالة كبريتيد الهيدروجين بالإيثانول أمين بتلك العمليات المختلفة لها كفاءة أعلا بالإضافة إلى اقتصادياتها أكثر من عمليات المونوإيثانول أمين والدائى إيثانول أمين. المبدأ لكل هذه العمليات واحد ويشكل الادمصاص والاستخلاص في ظروف الاتزان (Equilibria) بين غازات ثاني أكسيد الكربون وكبريتيد الهيدروجين ومختلف سوائل المعالجة . حالة الاتزان هذه تعمل على تكون الأملاح أو على زيادة الإذابة للغاز في السائل عند درجات الحرارة المنخفضة والضغط العالية.

مع انخفاض الضغط وارتفاع درجة الحرارة يتحلل الملح (Decomposed) و/أو ينطلق الغاز من المحلول. وهذا يجدد استخلاص المذيب لإعادة الاستخدام ويعمل على انطلاق الغازات لصرفها ، صرفها أو معالجتها مثل صناعة الكبريت، مصانع معالجة الغاز أربكتها مشاكل التآكل من المبتدأ. معظم المشاكل يكون بسبب تكسر المذيبات مثلاً (Monoethanolamine) ، عند درجات الحرارة المرتفعة لتجديد (إعادة توليد) مرجل إعادة المغلى (Rebolier Regenerator). من المفترض أن نواتج التكسير (Break down products) يمكن أن تغلف (Chelate) الحديد وتمنع تكون طبقة حماية غير مذابة عند الرقم الهيدروجيني العالى للتشغيل، الرقم الهيدروجيني الذى يمنع تآكل الحديد. فى هذا المجال يوجد تشابه بين تآكل الحديد فى محاليل الأمين فى إعادة توليد الغاز، وذلك من ناتج مصانع التكسير (Hydrocracking).

بناءً على ذلك فإن مشاكل التشغيل يمكن خفضها بالتشغيل المناسب لوحدة الإنتاج، حيث أوصى (Butwell) أن حمل الغاز (النسبة ما بين جزئيات الغازات الحامضية لكل جزئ من MEA – Mono Ethanolamine) يمكن المحافظة عليها عند 20% وأن نواتج

التحلل يمكن إزالتها باستخدام وحدة استخلاص لتدفق جانبي (Sidestream Reclaimer). وقد رأى آخرون المحافظة على درجة حرارة مرحلة إعادة الغلي (Reboiler) عند أدنى مستوى عملي ذلك لخفض تفكك المذيب وبالتالي تآكل المعدة. طرق حديثة أخرى:

من بين الطرق التي تم تطويرها حديثاً لتنافس الإيثانول أمين هي عملية السلفولين (Sulfalane – Shelloil). حيث المذيب عبارة عن محلول مائي من (Dilsopropyl Amine and Sulfolane). وكذلك استخدام (Tri-n-butyl Amine phosphate) كمذيب استخلاص. وهذه الطريقة تزيل فقط كبريتيد الهيدروجين من ثاني أكسيد الكربون. وتحتاج إلى درجة حرارة أقل من المونوإيثانول أمين لسبب طبيعي وليس الادمصاص الكيماوي للغازات الحامضية. وكذلك طريقة سيليكزول (Selexol) حيث المستخدم كمذيب (Polyethylene Glycol Dimethyl Ether)، والذي يزيل ثاني أكسيد الكربون من كبريتيد الهيدروجين وتكلفته الاقتصادية قليلة وكذلك تكاليف الصيانة أقل. لذلك استخدم سلفيت الصوديوم ( $\text{Na}_2\text{SO}_3$ ) والهيدروجين لإزالة الأكسجين وخفض حمل التآكل.

#### مختلف مشاكل التآكل في عمليات التكرير :

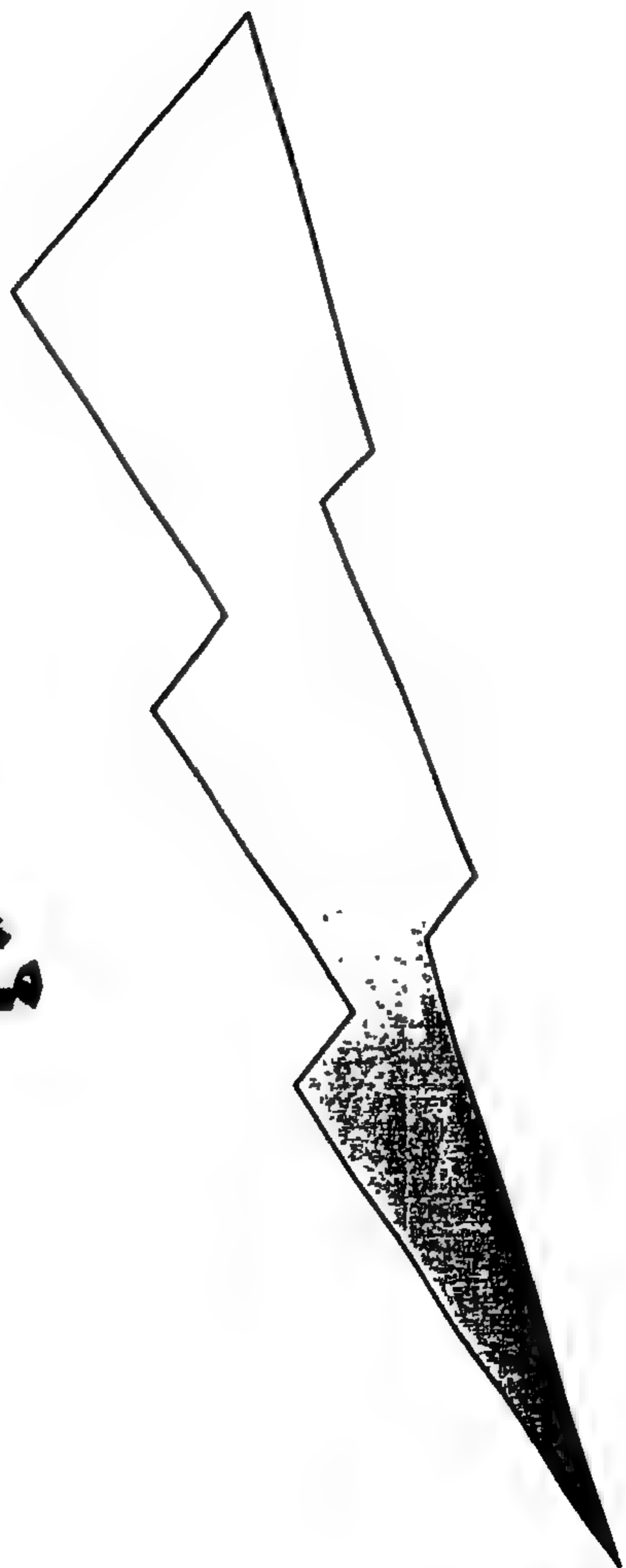
كثير من مشاكل التآكل المختلفة في مصانع التكرير ومصانع البتروكيماويات التي لم يتم مناقشتها تشمل التصاق المعدن بالأحماض المركزة مثل حامض الكبريتيك في الألكلة (Alkylation) - استبدال شق النياتي هيدروكربوني في مركب عضوي حلقي بالهيدروجين، حامض لنيتريك من أكسدة الأمونيا وهكذا. عموماً مشاكل التآكل هذه يتم حلها بطريقة أخرى بخلاف استخدام مثبطات التآكل. كمثال، بتغيير تصميم العملية - مثل التأكيد على خلو النظام من الماء أو بالمحافظة على استمرار حامض الكبريتيك عند تركيز مرتفع كافى ليصبح غير عدواني على الصلب، أو بالطرق الميتاليرجية واختيار سبائك مقاومة، باستخدام طبقات الحماية للتغطية والتبطين أو بالحماية الأنودية.





## **الفصل السادس**

**مُثَبِّطَاتُ التَّأْكُلِ فِي حَقُولِ  
الْبَيْتْرُولِ وَالْغَازِ**





## مقدمة :

المثبطات المستخدمة على نطاق واسع لحماية معدات آبار البترول والغاز هي من الأنواع الكاتأيونية والآن أيونية والتي تنتج طبقة زيتية طاردة للماء. المستخدم أساساً في معالجة مياه التبريد هي المثبطات الغير عضوية المسببة للمناعة. المثبطات العضوية الآن أيونية التي تكون طبقة زيتية طاردة للماء زاد استخدامها في نظم المياه.

## الخواص الطبيعية لمثبط التآكل :

### أ- الإذابة : Solubility

كل مثبطات التآكل السائلة يمكن تقسيمها بالنسبة للإذابة في الزيت والماء وكذلك خواص الانتشار والتشتت. هذه الخواص هامة لعدة أسباب. كثيرة من تقنيات المعالجة تتطلب تخفيف المثبط في مذيب مناسب (ماء، زيت البترول الخام، الكيروسين .. الخ) قبل الاستخدام. يعتبر المثبط مذاب في المذيب إذا ظل خليط المثبط والمذيب رائقاً. يعتبر المثبط قابل للانتشار في المذيب إذا أمكن انتشاره في المذيب بالرج اليدوي المتوسط. كمية المذيب هي عادة تساوى أو أكبر من كمية المثبط. انتشار (Dispersion) المثبط في المذيب قد ينكسر بسرعة ( أى فى أقل من دقيقة). وهذا هو الانتشار المؤقت. المثبط الذى يظل منتشراً بانتظام وتجانس فى المذيب هو المثبط المنتشر (Dispersible Inhibitor). طبقاً للتركيب الكيماوى للمثبط، فإن الخواص يمكن أن تكون الجمع بين ما سبق أى أن المثبط يمكن أن يكون مذاب جزئياً ومنتشر جزئياً فى نظام مذيب معين.

### ب- الشكل : Form

معظم المثبطات المستخدمة فى مجال حقول البترول والغاز تكون سائلة. كثافتها تتراوح ما بين 7 - 12 رطل فى الجالون طبقاً للطبيعة الكيماوية للمثبط، نظام المذيب، ونظام الاستخدام. يجب تصميم نظام المذيب بحيث يكون المنتج لا يتجمد عند

التعرض للظروف الحقلية شديدة البرودة. المثبطات السائلة تتوفر عادة فى عبوات 55 جالون أو 5 جالون. كما يمكن حفظ المثبطات السائلة فى كبسولة ذات غلاف قابل للذوبان فى الماء، حيث يذوب ببطء عند درجة حرارة القاع حيث يتحرر المثبط، هذه

الكبسولات تكون كثيفة حيث تسقط في قاع البئر. تصمم الكبسولات لتذوب في البئر حيث يتحرر المثبط بالمعدل الذي يعطى التركيز التقريبي المطلوب في السوائل المنتجة.

كما تتوفر المثبطات في شكل قضبان صلبة (Solid Stick) التي تغوص نحو قاع البئر، وتذوب ببطء ولفترة طويلة ممتدة. وهذه يمكن إيلاجها خلال تجهيزه مزلجة.

### التوافق مع الكيماويات الأخرى: (Compatability With Other Chemicals)

توافق مثبطات التآكل مع الكيماويات الأخرى ليست مشكلة عادة عندما يوجد المثبط والكيماويات بتركيزات عدة أجزاء في المليون. ولكن في بعض الحالات، فإن مادتين أو أكثر من الكيماويات يتفاعلوا مع بعضهم حيث يتم إلغاء تأثيرهم. هذا بالإضافة إلى أن مستخدم الكيماويات قد يرغب في خلط الكيماويات المختلفة بحيث يمكن استخدام مضخة واحدة في الحقن. كثيراً من الكيماويات حقول البترول لا تتوافق مع مثبطات التآكل بسبب التغيرات في نظام المذيب، نوع الكيماويات (الكاتأيوني مقابل الأن أيوني) .. الخ. فسي الواقع، فإن كثيراً من مثبطات التآكل لا يتوافق بعضها مع بعض. يتم عمل المباحث عند خلط أي كيماويات.

### خواص تكوين المستحلب : Emulsion Forming Characteristics

بسبب طبيعة النشاط السطحي لمعظم مثبطات التآكل، فإنه يمكن تكوين مستحلبات في نظم الماء - الزيت. بعض هذه المستحلبات ينكسر سريعاً بينما بعضها يكون شديد الثبات ويستحيل تكسيده عملياً. إدخال المواد المزيلة للاستحلاب (Demulsifiers) في مثبط التآكل ليس ضامناً ضد تكون المستحلبات الثابتة. السوائل المنتجة من كل حقل يمكن أن تختبر للحصول على تأكيد معقول أنه سوف لا يتكون مستحلب ثابت عند استخدام مثبط تآكل معين. وهذا الاختبار البسيط سيتم تناوله في نهاية هذا الفصل.

### التحلل والتفكك الحرارى : Thermal Degradation

مثبطات التآكل لها حدود لدرجات الحرارة والتي بعدها فإنها إما أن تفقد تأثيراتها وأحياناً يحدث تغير لمكوناتها الكيماوية. درجة الحرارة هذه يمكن أن تتغير لأي مثبط واحد طبقاً للضغط، ووجود الماء وحالات أخرى. مثال هو ملح (Acid - Amin Salt) في ظروف الجو العادى فإن هذا الملح سيتحلل لإنتاج الماء والأميد (Amide) عند 70 -



587م. ولكن هذه المادة الكيماوية يمكن أن تستخدم في آبار الزيت في وجود الماء عند درجات الحرارة هذه بدون تحلل واضح. المثبطات ذات أنواع البناء الأخرى قد تكون (Structural Types) قد تكون ثابتة عند درجات حرارة تتراوح ما بين 93 - 315<sup>5</sup>م أو أعلا طبقاً لتركيبها البنائي.

### اختيار مثبطات التآكل :

اختيار مثبط التآكل يتوقف على طبيعة النظام المطلوب معالجته وطريقة الاستخدام. وهو عادة يبنى على بعض أنواع الاختبارات بالإضافة إلى خبره في الموقع.

### طرق الاختبار : (Test Procedures)

#### الاختبار الاستاتيكي :

في الاختبار الاستاتيكي للوكالة الدولية لمهندس التآكل (NACE) يكون الفقد في الوزن لعينة الاختبار من الصلب المطاوع بعد التعرض لمحلول ثم تثبيطه (Inhibited solution). تتم المقارنة بنتائج المحلول الغير مثبط من الماء المالح (Synthetic Brine). يتم تعرض عينة الاختبار من الصلب لمحلول مثبط من الزيت لفترة زمنية قصيرة، يليها الغمر في الماء المالح لباقي الاختبار. في حالة المثبط المذاب في الماء يتم تثبيط الماء المالح.

### اختبار العجلة : Wheel Test :

اختبار العجلة هو اختبار الفقد في الوزن الديناميكي، حيث تغمر عينة الاختبار الموزونة في سائل الاختبار وتدور على عجلة عند عدد لفات في الدقيقة ثابت ودرجة حرارة ثابتة لفترة زمنية. عينة الاختبار هذه هي للرصد والتحكم (Blank-Or-Control). في النظام المستخدم لتقنية مشابهة يستخدم تركيز معلوم من المثبط. يجري هذا الاختبار متزامناً مع الرصد والتحكم. بعد نهاية الفترة الزمنية فإن كمية إخماد الفقد في الوزن الناتج عن المثبط يتم تحديدها.

### اختبارات التدفق : Flow Tests :

اختبار إعادة التدوير الديناميكي يمكن استخدامه عندما يكون مطلوباً محاكاة ظروف التدفق الحقلية. أحد المعايير المطلوبة التحكم فيها هي سرعة المجال العدواني، نسبة

الزيت إلى الماء ، درجة الحرارة، تركيز الغازات المذابة. المتغيرات التي يمكن أن تكون مفروضة هي نوع المجال العدواني، تركيز المثبط، تأثير التآكل المسبق لعينة الاختبار ونوع معالجة المثبط.

نوع اختبار التدفق هذا يوفر اختبار حاد إلى درجة كبيرة لعمر طبقة المثبط مقارنة باختبار التقنية الاستاتيكية. فهو يوفر تقنية مفيدة لدراسة المتغيرات التي تؤثر على كفاءة المثبط. العلاقة المتبادلة (Ccorrelation) بين الاختبارات المعملية والاستخدام الحقلية للمثبط في النظم الحامضية بفعل ( $H_2S$ ) والخالية من ( $H_2S$ ) يفضل استخدامها لهذه التقنية عن استخدام البيانات من الاختبار الاستاتيكي.

#### اختبار أيون النحاس : Copper Ion Test :

في اختبار أيون النحاس يتم غمر عينة الاختبار المتصلة بخطاف زجاجي في 5% محلول كلوريد الصوديوم لمدة خمسة دقائق. يلي التعرض للماء المالح يتم غمر العينة في محلول المثبط بتركيز 1% في كيروسين غير مستقطب لمدة خمسة دقائق. يتم عندئذ انتقال العينة إلى محلول كبريتات نحاس بتركيز 10% حيث يمكن لحين ملاحظة ترسيب النحاس. الاختبارات تتم عند درجة حرارة المعمل. الزمن بالثواني أو الدقائق اللازم لبدء ترسيب النحاس على العينة يكون مظهر لقدرة المثبط على إيقاف التآكل.

#### اختبار التدفق الجانبي : Side stream Testing

يمكن عمل الاختبارات في الحقل برصد عدوانية السائل (المطلوب تقييمه) في وجود مثبطات مختلفة. يتم عادة تنفيذ ذلك بمعالجة تدفق جانبي من السائل وقياس تأثير المثبط بقياس الاستقطاب الطولي (Linear Polarization Meter).

#### الخبرة في المنطقة : Experience in the Area

من المفيد دائماً المراجعة مع العمالة الأخرى الموجودة في المنطقة لتحديد الكيماويات وطرق المعالجة المستخدمة ونتائج هذه المعالجات. هذه المعلومات يمكن أن تكون ذات فائدة كبيرة لتوفير نقطة البدء لبرنامج المثبط.

### تقنيات استخدام مببطات التآكل فى آبار الزيت والغاز :

توجد تقنيات كثيرة مستخدمة لاستخدام مببطات التآكل فى آبار الزيت والغاز. كل تلك التقنيات لها نفس الغرض وهو وضع طبقة المثبط التى تكون مانعة لنفاذ المجال العدوانى مع تغذية هذه الطبقة من آن إلى آخر (معالجة متقطعة) أو باستمرار (معالجة مستمرة) أو الجمع بين الاثنين. نوع المثبط ونوع المعالجة هو الذى يمليه طريقة معدات البئر. إذا كان البئر له عامود المواسير (Tubing string) موضوع على عازلة الإنتاج (Packer) عندئذ فإن التدوير ما بين المواسير والفراغ الحلقى بين المواسير والقيسون يكون مستحيل. كثيراً من الآبار ليس لديها عازلة الإنتاج ، بما يمكن من التدوير.

البئر المتدفق يمثل موقف مختلف عن البئر الذى يتم رفعه صناعياً برفع الغاز أو بأحد أشكال الطلبات الغاطسة.

### المعالجة على دفعات Batch Treatment :

التقنيات المختلفة للمعالجة على دفعات تستخدم فى معالجة آبار الزيت والغاز شاملة استبدال المواسير ، الدفعة القياسية ، دفعة المعالجة الممتدة.

### إحلال المواسير : Tubing Displacement

الآبار المجهزة بعوازل الإنتاج وآبار رفع الغاز أحياناً تعالج بإحلال المواسير. مثبط بتركيز حوالى 10% إما مذاب أو منتشر فى الماء أو فى الهيدروكربون. الماء يمكن أن يكون عذباً أو أن يكون ماء مالح منتج. الهيدروكربون يمكن أن يكون منتج أو أن يكون منتج مكرر مثل الكيروسين أو الديزل - الكمية المطلوبة من هذا المخلوط يتم عندئذ استبدالها خلال المواسير إلى قاع البئر بالضخ للسائل (عادة سائل منتج) فى مؤخرة الخليط. كمية السائل المزاح تحسب بتقدير حجم المواسير وطرح حجم خليط المثبط. بعد إزاحة المثبط نحو القاع، عادة يتم قفل البئر لمدة من 2 إلى 15 ساعة. ثم يعود البئر بعد ذلك إلى العمل العادى.

طريقة إحلال المواسير تعرف كذلك بـ "Kiss squeeze". هذه الطريقة للمعالجة تستمر من أسبوع إلى عدة شهور طبقاً للنظام والمثبط.

**الدفعة القياسية : Standard Batch**

أحياناً يتم معالجة آبار الضخ بالتنشيط على دفعات في الفراغ الحلقى وإزاحته نحو القاع بتمرير المنتج إلى الفراغ الحلقى. المثبط يمكن إضافته في الشكل الغير مخفف، أو أن يخفف بطريقة تشبه لتلك في حالة إحلال المواسير (Tubular Displacement) المثبط أو خليط المثبط يتم عندئذ ترليجه أو ضخه في الفراغ الحلقى، جزء أو كل المنتج من البئر يتم تمريرة إلى الفراغ الحلقى (Annulus) لإزاحة المثبط نحو قاع البئر. أحياناً تترك الآبار لتدوير المثبط أسفل الفراغ الحلقى، وأعلى المواسير وعودة إلى الفراغ الحلقى لتدور ثانياً في تاريخ آخر. وفي حالات أخرى يستخدم التدوير بالدفق (Flush Through) أى يتم ضخ المنتج الطافي فقط في الفراغ الحلقى لأجل أن يحمل جزء الماء للمنتج المثبط المنتشر في الماء خلال عامود الزيت فوق الطلمبة.

الآبار لا تدور حقيقى حتى أن عامود السائل يزداد (Builds Up) ليساوى ضغط قاع ثقب البئر أو أن البئر يتم ضخه وأن يكون معدل الضخ أكبر كثيراً من معدل الإنتاج. بالنسبة للآبار التى تضخ لأسفل ولا تضخ لأعلى، فإن الوقت اللازم للوصول للدوران الحقيقى يمكن أن يكون طويلاً جداً. زمن الضخ إلى الفراغ الحلقى يجب أن يناسب بحرص خواص البئر وخواص المثبط.

المثبطات عالية الانتشار تحتاج إلى زمن بثق (Flush Time) لإنتاج 1 - 1.5 برميل من مجال الماء في آبار ذات 0.1000 قدم من عامود السائل فوق الطلمبة والزمن اللازم لإنتاج 1.5 برميل من مجال الماء في الآبار من 1000 - 5000 قدم منسوب السائل. وهذه يمكن كذلك حسابها.

المثبطات التى لا تنتشت بالماء تتطلب بعض التدوير، طبيعى كلما زاد التدوير كلما تكونت طبقة مثبط أفضل. هذا النوع من المثبطات يستمر من يوم أو اثنين إلى عدة شهور طبقاً لنوع النظام والمثبط.

أحد التقنيات للمعالجة المرحلية لآبار الضخ تسمح للبئر بالاستمرار فى الإنتاج بالكامل بينما تستمر معالجته. يتم خلط المثبط الذى يذوب أو ينتشر فى الماء مع الماء



ويوضع في الفراغ الحلقى. يسقط الخليط خلال مجال الزيت وفي حالة منسوب قليل من الماء أو عدم وجوده في الفراغ الحلقى، فإن الخليط سوف يذهب إلى القاع ثم ينتج إلى أعلا المواسير، وبذا يعالج البئر. هذه التقنية ليست مؤثرة في حالة وجود مستوى من الماء كبيراً في الفراغ الحلقى. معدلات المعالجة هي طبيعية مرة أو أربع مرات في الشهر.

### دفعة المعالجة الممتدة :

دفعة المعالجة الممتدة هي شكل مختلف عن معالجة الدفعة القياسية (Standard) (Batch) . كمية كبيرة من المثبط (حتى ملئ برميل) توضع في الفراغ الحلقى للبئر. يتم وضع البئر في التدوير الكامل والتدوير حتى وصول المثبط إلى أسفل الفراغ الحلقى، أعلا خلال المواسير، ثم العودة ثانياً إلى الفراغ الحلقى. البئر عندئذ يتم وضعه ثانياً في الإنتاج تاركاً المثبط في الفراغ الحلقى، مع تغير مستوى السائل في الفراغ الحلقى، فإن كميات قليلة من المثبط تحمل في الزيت إلى المواسير، وبذا تعالج المواسير من آن إلى آخر وكذا الطلمبة لمدة أسبوع أو عدة أشهر بعد إضافة المادة الكيماوية. هذا النوع من المعالجة استمر لمدة ستة أشهر في بعض الآبار. يجب ملاحظة أن هذه التقنية تتوقف على مستوى السائل في الفراغ الحلقى ذلك لأن المثبط يكون في المحلول في الزيت في الفراغ الحلقى. يجب معرفة أنه يجب توفير التدوير الحقيقي وليس فقط بناء السائل في الفراغ الحلقى.

### المعالجة المستمرة :

المعالجة المستمرة تشمل التغذية بالمثبط باستمرار بحيث أن يكون تركيزه في السوائل العدوانية يظل عند المستوى الكافي لمنع أو تقليل التآكل بشكل كبير. هذا التركيز قد يختلف من بضعة أجزاء في المليون إلى خمسين أو أكثر، طبقاً لشدة العدوانية.

آبار الضخ يمكن معالجتها باستمرار أسفل الثقب بضخ المثبط في خط الذي يوف التمرير الجانبي (By passes) لجزء صغير من المنتج ثانياً إلى الفراغ الحلقى. يتم ذلك عادة بالجمع بين مثبطات تآكل الترسيبات ذلك لأن مثبطات الترسيبات (Scale inhibitors) عادة يجب أن تستخدم على أساس مستمر. طرف القوة المحركة (Power End) للطلمبات

الهيدروإليكية الغاطسة يمكن أن يعالج باستمرار بحقن المثبط في زيت الطاقة (Power oil). يجب الحرص في اختيار المثبط الذي لا يسبب ترسيب قاذورات (Foul) على أسطوانة الطاقة. الفراغ الحلقى المفتوح ضروري لمعالجة طرف الطلمبة أو أن تستخدم المعالجة بالكبس.

الآبار المجهزة بأعمدة المواسير ذات المركز الواحد (Cocentric) أو مع عامود مواسير مختلط يمكن معالجتها باستمرار بالحقن أسفل أحد أعمدة المواسير. يمكن إنشاء محابس الحقن أسفل الثقب للبئر (Down hole) قرب قاع عامود المواسير.

عند تجهيز البئر بعامود مواسير واحد وعازلة الإنتاج (Packer)، أحياناً يتم تركيز محبس حقن قرب قاع عامود المواسير. هذا المحبس السفلى يجهز ليفتح عند وصول ضغط الفراغ الحلقى قيمة معينة. يتم ملئ الفراغ الحلقى بالمثبط. خليط المخفف، ثم يتم الضخ المستمر للخليط إلى الفراغ الحلقى الممتلئ، حيث يحدث البناء الكافي للضغط لفتح المحبس أسفل الثقب (Down hole Valve). البئر حيث الرفع بالغاز يمكن معالجته مستمراً بترزيز المثبط في غاز رفع الغاز.

### المعالجة بالكبس : Squeeze Treatment

المعالجة بكبس مثبط التآكل تشمل وضع محلول المثبط في التربة الحاملة للإنتاج (Producing Formation). مميزاتها الرئيسية هي أنه يمكن استخدامها في إطار غير أنبوبي (Tubing Less)، وكذلك خفض مرات المعالجة. وهي يمكن أن تكون مؤثرة لمدة 3 إلى 18 شهراً طبقاً للمثبط والتربة وتقنيات وضع المثبط، والسوائل الجارية إنتاجها. في المعالجة بالكبس يتم خلط حجم كبير نسبياً من المثبط (1 - 4 برميل) في مخفف متوافق (10 - 20% مثبط). يتم إزاحة الخليط إلى أسفل المواسير ثم إلى التربة. كمية سائل الإزاحة هي تقريباً 25 - 75 برميل زائد حجم المواسير. عند عودة البئر للإنتاج بعد الكبس فإن التركيز الأولي للمادة الكيماوية في السوائل العائدة يكون مرتفعاً، مع انخفاض سريع نسبياً في التركيز مع الإنتاج. وبذا تتكون طبقة حماية على أسطح المعدن أثناء عملية الكبس وخلال الفترة القصيرة حيث التركيز الكيماوي للسائل العائد يكون مرتفعاً.

استمرار عودة المادة الكيماوية بتركيز منخفض يصلح من طبقة الحماية التي تكونت أصلاً. وعندما يصبح المثبط العائد لا يمكنه الإصلاح لطبقة الحماية بنفس السرعة التي تتم بها إزالتها فإن تأثير المعالجة ينخفض.

المتغيرات التي تؤثر على كفاءة تأثيرات التربة والمعالجة سيتم مناقشتهم وهي:

#### خواص الامصاص وعدم الامصاص :

من الناحية العملية كل أنواع مواد التربة ستمتص مختلف المثبطات المكبوسة إلى حد ما. إمكانيات الامصاص للطفلة تكون عدة مئات أكثر من طاقة الرمل أو الحجر الجيري. الامصاص في الرمل أو في الحجر الجيري يكون عكسياً. كثيراً من المثبط المتمز بالطفلة يكون مرتبط بقوة ولا يحتمل أن يتم التخلص من ادمصاصه. ولكن، الطفلة التي تتمز مثل هذه الكمية الكبيرة من المثبط بحيث أن الجزء الذي يتم التخلص من ادمصاصه (Desorbs) يظل يوفر حماية من التآكل كافية. أثناء التخلص من الامصاص فإن تركيز المثبط في السائل المنتج يسقط بسرعة إلى عدد قليل من مئات الجزء في المليون ثم عندئذ يستمر المثبط في أن تميز عند تركيزات منخفضة لمعدة

مئات من حجم الفراغ للهيدروكربون المنتج. بسبب الامصاص العكسي فإن جزء فقط من المثبط المتمز أصلاً يتم التخلص من ادمصاصه (Desorbed) . من الواضح، أنه سيتم استخدام مثبط أكثر عند الكبس الأولى (2 إلى 4 برميل).

#### تأثير النفاذية :

نادراً ما يحدث خفض واضح في النفاذية بفعل مثبط التآكل على أسطح الرمال، ولكن: الطفلة الموجودة في كثير من الحالات تكون عادة حساسة للمثبطات حيث يمكن أن تتفتح أو تنشئت عند الالتصاق بالمثبط. النفاذية الناتجة تختلف كثيراً، رغم أن معظمها يكون مهمل. في المناطق حيث عرف حدوث تلف للتربة أو أنه عرف وجود طفلة حساسة أو يشك في وجودها، فإنه يتم أخذ عينة من التربة (Core Sample) واختيار المثبط الذي لا يسبب التلف.

يمكن استخدام اختبار بسيط لتعيين درجة استعداد الطفلة للانتفاخ لمختلف المثبطات. يتم خلط 10% من المثبط إلى مركب يسمى (Mentor - 28) (وهو اسم تجارى لمركب فى ولاية تكساس) ويضاف إلى 100 سم<sup>3</sup> من المخبر المدرج المحتوى على 10 سم<sup>3</sup> (6.5 إلى 7 جرام) من مادة (Sodium Montmorillonite) يتم زيادة المستوى إلى 100 سم<sup>3</sup> طفلة. يتم عندئذ تسجيل حجم الطفلة عند 5 ثوان، واحد ساعة، 4 ساعة، 24 ساعة.

### استعدادات تكوين المستحلب : Emulsion Forming Tendencies

عدم الاختيار الصحيح لمثبط الكبس يمكن أن يكون مستحلب فى التربة ويعمل على انسداد وإلحد من الإنتاج من البئر. الاختيار الأولى للمثبط يجب أن يبنى على الاختيارات باستخدام سوائل التربة من البئر بالاتصاق بمختلف المثبطات. خواص تكون المستحلب للمثبطات التآكل مع تقنيات الاختبار تم مناقشتها.

### كبس المثبط بالترزيز : Atomized inhibitor squeeze

أحياناً يتم كبس آبار الغاز بترزيز المثبط فى الغاز (عادة النيتروجين) ثم إزالة خليط الترزيز نحو التربة بغاز إضافي. تستخدم هذه التقنية فى آبار الغاز ذات الضغط المنخفض والتي يمكن أن تموت فى حالة حمل المواسير بالسائل. وهى تستخدم كذلك عندما يكون المطلوب ليس زيادة تشبع السائل فى فتحة البئر، بما يسبب خفض النفاذية للغاز.

### السوائل المثقلة : Weighted Liquids

السوائل المثقلة من مثبطات التآكل (10 إلى 12 رطل للجالون) زاد استخدامها فى حقول البترول. نظرياً، هذه المثبطات تسقط خلال سوائل البئر نحو قاع البئر المطلوب معالجته، وبذا يتم تجنب تقنيات التغذية الأخرى مثل المواسير (Tubing) أو الإزاحة الحلقية. ولكن توجد عدة عوامل تؤثر على استخدام المثبطات المثقلة.

المثبطات المثقلة بكلوريد الزنك سوف تكون سلفيد الزنك عند التعرض لسلفيد الهيدروجين ولا يتم استخدامها فى النظم الحامضية المحتوية على كبريتيد الهيدروجين.



سلفيد الزنك عبارة عن مثبت للمستحلب ، والمستحلبات الناتجة عن وجوده عادة يكون من الصعب أو من المستحيل تكسيرها. المببطات المثقلة بمواد عضوية ثقيلة يتم استخدامها فى الآبار الحامضية. يوجد تقسيمين رئيسيين للمببطات المثقلة وهى سريعة التحرر وبطيئة التحرر. بعض المببطات تتحرر فى الحال عند التعرض للماء. مببطات أخرى تفرص خلال طبقة الماء وتغذى المثبط ببطء ثانياً. زيادة درجة الحرارة أو المحتوى من الأملاح للمياه المالحة يسرع انطلاق المادة الكيماوية. بالنسبة لآبار التدفق (المزودة عادة بعوازل الإنتاج) ومعظم آبار رفع الغاز، يمكن وضع المثبط على مراحل فى المواسير نظراً لأن الماء مطلوب لإطلاق المثبط فإن المببطات المثقلة سيكون لها استخدام محدود فى آبار الغاز الجاف. المببطات سريعة الانطلاق سوف لا ترسب خلال طبقة الماء وعادة لا يتم تغذيتها مرحلياً خلال المواسير.

آبار الضخ عادة يتم عالجتها بدفعات أسفل الفراغ الحلقى. إذا كان المطلوب وضع المثبط فى جحر الفأر (Rothole) فإنه يجب إيقاف البئر. ذلك يكون ضرورى إذا كان المطلوب تردد معالجة منخفض. ولكن ، إنه يمكن استمرار الإنتاج إذا عولجت الآبار على أساس من آن لآخر وأن الطلمبة تكون فى قاع فتحة البئر - الطلمبة توفر التقايب الكافى والقص لتحرير المثبط. يجب تذكره أنه فى حالة استخدام تلك التقنية، فإن المثبط سوف لا يكون متاحاً للحماية لأى معدن أسفل الطلمبة.

المببطات سريعة التحرر سوف لا تحقق الأداء الجيد فى الآبار ذات منسوب عالى للسائل فى الفراغ الحلقى ذلك لأن كثيراً من تلك المببطات كذلك تبدى بعض الرغبة فى التحرر فى مجال الزيت.

المثبط المثقل لا يتم تخفيفه قبل الاستخدام. يجب مراعاة الإحساس والنوق العام عند تصميم استخدام المثبط المثقل. يجب معرفة أن الوزن يتم توفيره فقط للمساعدة فى وضع المثبط فى القاع.

### الكبسولات : Capsules

بعض المببطات يمكن وضعها فى كبسولة ذات غلاف ثقل قابل للذوبان فى الماء والذي يذوب ببطء عند درجة الحرارة المحددة لتحرير المثبط. هذه المببطات يمكن ضخها

مباشرة في المواسير أو في الفراغ الحلقى للبئر. وهي ستسقط نحو القاع بسبب وزنها. يلزم وجود بعض حفر الفأر (Rothole) لزيادة كفاءة المثبط. يتم توفير وقت كافى للإيقاف (عادة خلال الليل) ليتمكن للكبسولات أن تصل إلى قاع البئر. الكبسولات عندئذ سوف تذوب، مع استمرار إطلاق كميات صغيرة من المثبط خلال فترة زمنية طويلة نسبياً.

### القضبان : Sticks

بعض المثبطات يتم تسويقها في شكل عصي أو قضبان. هذه القضبان عندما توضع في البئر خلال تجهيزه تزليج ستغوص نحو القاع، وتذوب ببطء وتعود ثانياً يكون من الضروري بعض من حفر الفأر في معظم الحالات لمنع القضيب من العودة ثانياً مع سوائل البئر.

### نظم حقن المياه : Water injection systems

نظم حقن المياه سواء كانت لصرف المياه أو لعمليات فيض المياه (Water flood operations) عادة يحدث لها تآكل بفعل الماء. يمكن التحكم في هذا التآكل أحياناً باستمرار المعالجة بمثبط التآكل. بحيث توفر سطح نظيف على الخطوط ليتمكن للمثبط أن يعمل. لذلك فإن العملية تشمل كاشطة أو كتلة معدنية حاكّة والبندق المستمر بالمثبط (يليه الحقن المستمر حتى الدورة الثانية) عادة يليه للحصول على المعالجة المؤثرة خلال فترة زمنية طويلة. في الماضي كان المستخدم عادة المثبطات المذابة في الماء لهذا الغرض. حالياً تجمع استخدام المثبطات المنتشرة (Dispersible). ضغط الحقن يجب ملاحظته حيث أن أى زيادة في الضغط يمكن أن تبين أن المثبط المنتشر قد تم ترسيبه على وجه التربة بما يقلل من النفاذية. كذلك فإن الكيماويات المنتشرة يتم إزالتها جزئياً بالمرشحات المستخدمة في عمليات الفيض المائي وصرف المياه.

### طريقة اختبار استحلاب المثبط:

1. ضع 100 سم<sup>3</sup> من السائل الكلى مع النسبة المطلوبة من ماء الحقن والزيت في كل من الإنائين 6 أوقية (طبقاً للمواصفات).

2. أضف 1سم<sup>3</sup> من المثبط لأحد الإنائين. والإناء الآخر يعمل كمقياس.
3. رج كلا الإنائين يدوياً. 50 مرة تقريباً، ضع جانباً، ولاحظ السرعة التى ينكسر بها المستحلب الناتج.
4. ضع محتويات كل من الإنائين فى خلاط واخلط بسرعة عالية لمدة 30 ثانية، لاحظ الوقت اللازم لتكسر المستحلبات الناتجة.
- يتم ملاحظة نظافة الماء المنتج والزيت ومظهر سطح التلاقى. هذه الطريقة يمكن أن تتغير طبقاً للظروف الحقلية المعينة وتقنية استخدام المثبط، فى كثير من الحالات تعتيق سوائل البئر سوف يؤثر على خواص تكوين المستحلب.
5. نقاء السوائل الحقلية. عند استخدام السوائل الحقلية، يمكن إمساكهم وحجزهم فى أوعية بلاستيك. السوائل المخزنة لمدة أكثر من 2 - 3 شهر يتم التخلص منها. يجب الحرص نحو تأكيد أن السوائل الحقلية المأخوذة لم يتم معالجتها.

### قطعة الاختبار : Test speciment

#### 1- الوصف :

قضيب حفر يقطر 16/3 بوصة مقطوع بالطول الذى يكون خابور (Pinned) عند وضع الغطاء على الوعاء، يستخدم مع أوانى الصودا. كذلك يمكن استخدام 3×1 بوصة عينة اختبار من الصلب المدرفل على البارد 1018 أو 1020 (كذلك يمكن استخدام الصلب عالى القوة) بقطر 1.5 بوصة للفتحة فى نهاية واحدة تستخدم مع أوانى مربعة 8 أوقية. يتم تعليق عينة الاختبار فى المكان فى الإناء بوضع قضيب من البولى بروبيلين أو النيلون خلال الفتحة فى عينة الاختبار.

#### 2- التعرف على عينة الاختبار:

فى حالة استخدام عينات اختبار 3 × 1 بوصة يمكن لصق علامات تميز على العينة قبل تحضير السطح. يمكن ترقيم أوانى الاختبار مثل العينات التى تحتويها لتبسيط الاختبار. عند استخدام قضبان حفر 16/3 بوصة فإنه يجب أن تظل منفصلة عن بعضها وذلك بوضعهم فى أوعية مرقمة.

## 3- تحضير السطح :

أ- تستخدم فقط عينات الاختبار الخالية من الثقوب والشروخ العميقة. لا يتم استخدام عينات اختبار التي بان عليها التآكل. تأكل العينة في التخزين يمكن منعه يحفظها مغمورة في كيروسين غير مستقطب. لا يتم تداول أو حتى لمس العينات باليد العارية. استخدام قفازات أو تجهيزات ميكانيكية.

ب- يتم تنظيف عينة الاختبار بالإكزايين (Xylene) وصوف الصلب.

ج- نظف بـ (Isopropyl Alcohol) وصوف الصلب.

د- نظف بالصابون والماء وصوف الصلب.

هـ- اشطف في أيزوبروبيل الكحول.

و- أشطف في الأسيتون.

ز- جفف في فرن عند 65°م.

ح - ضع في مجفف (Desicator) لحين الوصول إلى درجة حرارة الغرفة.

ط- أوزن في ميزان حساس إلى 1/10 ميليغرام وسجل الوزن.

## عدد الفحوصات والاختبارات :

لا يقل عن اثنين اختبار يتم استخدامهم عند كل تركيز. أواني الفحص (بياضة - Blanks) يتم استخدامها في زوج أو ثلاث (Duplicate or triplicate) . يمكن استخدام عدة كيماويات في نفس الوقت بمجموعة واحدة من الرصد.

تركيز المواد المطلوب اختبارها :

الغرض من الاختبار هو لمقارنة المواد عند تركيزات مكافئة متعلقة بالثمن. اختبار التركيزات للمواد ذات السعر الأكثر أو الأقل عن القياسي يتم بالآتي:

اختيار التركيز جزء في المليون =

الثمن القياسي للمثبط

ثمن اختبار المثبط

التركيز القياسي. (جزء في المليون) ×



إذا كان ثمن مادة الاختبار غير معلوم، يمكن تقديره لأقرب ما يمكن.

### الخطوات :

1. أعد على منضدة العمل العدد المناسب من القنينات والأغطية (اثنين لكل مادة يتم اختبارها + 2 أو 3 للرصد).
2. ادفع إلى الخارج الهواء من كل قنينة بإدخال النيتروجين (الاختبارات من نوع كبريتيد الهيدروجين) أو ثاني أكسيد الكربون (الاختبارات من نوع ثاني أكسيد الكربون) في أنبوبة التوصيل مؤدية إلى قاع القنينة.
3. أدخل الكمية المطلوبة من كبريتيد الهيدروجين المعد إلى قاع كل قنينة خلال أنبوبة التوصيل.
4. أدخل الكمية المطلوبة من الماء المالح في كل قنينة خلال أنبوبة التوصيل أسفل الهيدروكربون. هذه الإضافة يجب أن تتم ببطء لتجنب الطرشة.
5. أدخل الكمية المناسبة من المثبط مباشرة في القنينة. أي طريقة توفر إضافة الكمية المطلوبة من المادة بدون إدخال مذيبيات غريبة، عوامل إزدواج .. الخ يمكن أن تستخدم لعمل 1% محلول والذي يمكن بعد ذلك سحبه بالسحاحة إلى القنينات.
6. ضع عينة الاختبار أو قضيب الحفر في القنينة ثم أغلق القنينة بالغطاء. إذا كان يجب طرد الأكسجين، فإنه سيكون من الضروري استمرار طبقة من الغاز فوق السوائل في كل الأوقات حتى الغلق.
7. بمجرد غلق القنينات ضعهم على عجلة الاختبار وأبدأ الاختبار. ثبت درجة الحرارة طبقاً للمطلوب.
8. إذا كان الاختبار من نوع التركيز الثابت، استخدم للفترة الزمنية المطلوب (عادة 24، 48 أو 72 ساعة).
9. إذا كان الاختبار من نوع الطبقة المستمرة، استخدم لمدة ساعة لتثبيت عينة الاختبار بالطبقة. إنزع عينات الاختبار وضع نظام ثالث مشابه للنظام الثاني. أثناء أي تغيير لعينات الاختبار فإنه يجب إتباع الاحتياطات إبعاد الأكسجين. استخدم الاختبار الثالث

للقنينات لمدة 24 ساعة. إذا كان المطلوب اختبار أطول، فإن السوائل طبيعياً يتم تغييرها كل 24 ساعة.

10. إرفع العينات، يتم النقع لمدة 10 - 20 دقيقة في حامض هيدروكلوريك مئبط.  
الحسابات :

بفرض  $C =$  متوسط الفقد في الوزن لعينة الرصد.

$T =$  متوسط الفقد في الوزن لعينات الاختبار لكل تركيز لكل مادة كيميائية.

$$\text{نسبة التثبيط المئوية \%} = 100 \times \frac{100}{\text{...}}$$

إجمالي التغيرات في وزن العينة لا تكون ذات معنى أو دلالة إذا كان أبعاد العينة خلال التجاوزات العادية.

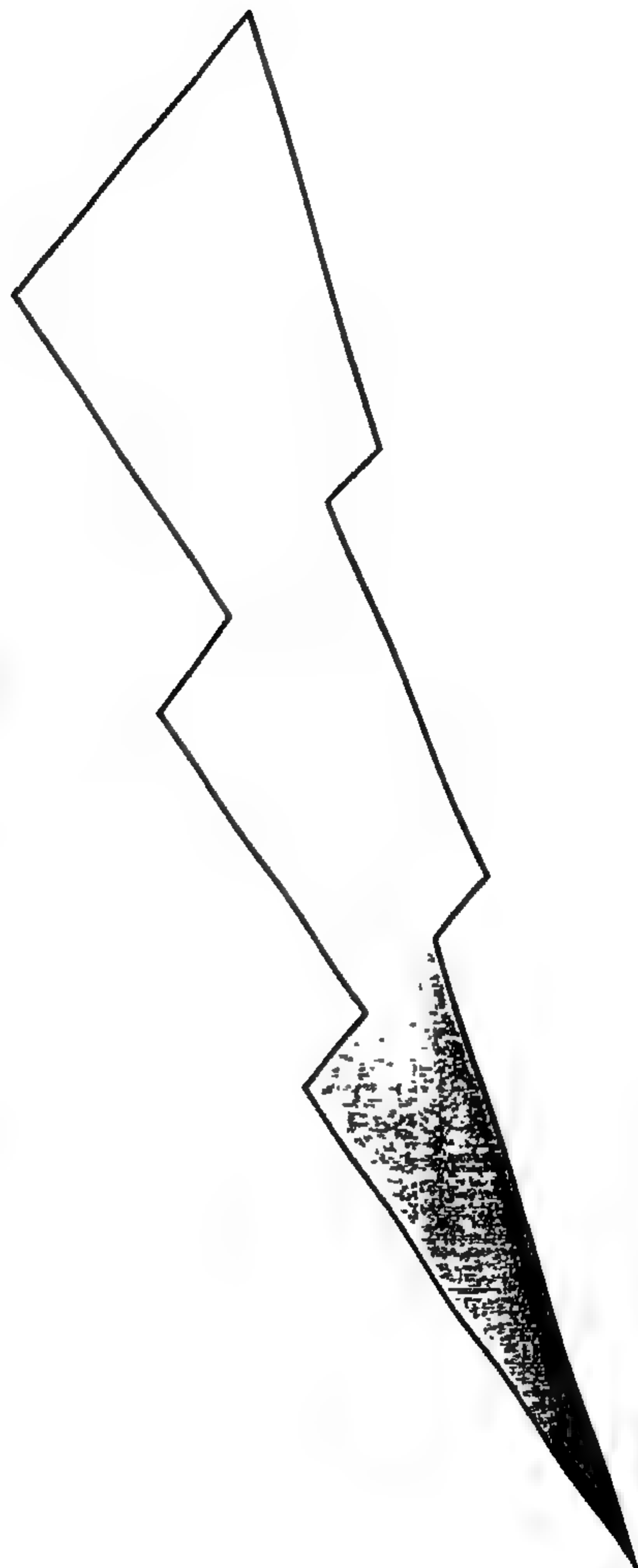
تحليل النتائج :

يمكن المقارنة المباشرة بنسبة التثبيط بين مادتين أو ثلاثة. بالنسبة لاختبارات التركيز الثابت فإن الحماية لأقل من 70% لا يمكن استعادها عموماً. من 70% إلى 90% حماية ستكون من الممكن استعادتها  $\pm 2\%$ .

نتائج اختبارات استدامة الطبقة تشبه لما سبق عدا أن الحماية في المجال من 40% إلى 70% عادة يمكن استعادته  $\pm 5\%$ . النتائج لتلك الاختبارات تكون نسبية لاختبار معين وأرقام الحماية بين اختبارين لا يمكن مقارنتها مباشرة. وهذا يرجع إلى تغير خفيف في المتغيرات المستخدمة في هذا النوع من الاختبار. يمكن كذلك اختبار العينات للكشف عن وجود الثقوب.

## الفصل السابع

التغطية ، التبطين ،  
المواسير الغير معدنية







## - التغطية والتبطين : Coatings and Linings

### أ- التغطية لمقاومة التآكل : Coating for corrosion control

التغطية هي مادة رقيقة جداً تستخدم في شكل سائل أو مسحوق والتي عند التجمد تكون ملتصقة جيداً ومستمرة على المنشأ المطلوب حمايته والتي تمنع الالتصاق بين المنشأ والبيئة الملاصقة. قد تستخدم التغطية لجمال الشكل، منع التآكل، التغطية لمنع التآكل تختلف عن البويات لتوفير جمال الشكل، وإن كانت مواد التغطية للحماية من التآكل يمكن أن تسبب الشكل الجمالي.

للمحماية من التآكل لفترة زمنية، يكون من الضروري أن تكون لطبقة التغطية المرنة والمقاومة ضد الصدمات، المقاومة الكيميائية ضد المجال البيئي الملاصق المعرضة له ، مقاومة النفاذية للرطوبة ، وكذلك الالتصاق الجيد والتماسك الجيد، وكذلك مقاومة درجة الحرارة التي تتعرض لها. يتم اختيار مادة التغطية مع مراعاة العامل الاقتصادي.

### تقسيم مواد التغطية : Classification of Coatings

يمكن تقسيم مواد التغطية طبقاً لسماك طبقة التغطية الجافة، التركيب الكيميائي، أو التركيب الكيميائي والطبيعي.

#### سماك طبقة التغطية الجافة:

طبقة التغطية الرقيقة لها أقصى سماك جاف من 5 إلى 8 ملليمتر. ولكن طبقة التغطية السمكية تكون بسماك 12 إلى 20 ملليمتر أو أكثر.

يحدد أقصى سماك للطبقة الجافة الرقيقة طبقاً لاحتمالات تشقق طبقة التغطية في حالة زيادة السماك ومع التغير في درجات الحرارة والاجهادات التي تتعرض لها المعدة التي تم حمايتها بطبقة التغطية ، هذا بالإضافة إلى العامل الاقتصادي.

### التركيب الكيميائي: Chemical Composition

مواد التغطية يمكن أن تكون عضوية أو غير عضوية. سوائل حمل الدهان (Vehicles) لمعظم مواد التغطية الغير عضوية لها تركيب جزيئي مبنى على السيليكون واحتمال عناصر أخرى. مواد الصبغات يمكن أن تخلط مع سائل حمل الدهان.

## مواد التغطية العضوية : Organic coatings

مواد التغطية العضوية المستخدمة لحماية معدات تداول الزيت والغاز هي طلاء الأسفلت، طلاء الكولتار ، الإيبوكسيات والفينولات ومشتقاتها ، والبولى يوريثين ، البولى إيسترز ، المطاط المكلور والبولى فينيل كلورايد (PVC). الحماية الخارجية لخطوط المواسير تستخدم عادة أشرطة للصق (Adhesive tapes) المصنوعة من البولى إيثيلين أو أى مادة تغطية أخرى . للاستخدامات الخاصة فإنه يستخدم الفلوروكربونات (Flourocarbons) مثل التيفلون (Teflon) ، الفينيلين سلفيد (Phenylene Sulfide) (مثل الريون Ryton ) ، كما تستخدم مواد كثيرة أخرى. الاستخدام الجيد لكل نوع من المادة هو من الفنون التى يمكن اكتسابها بدراسة خواص المادة وبالمحاولة والخطأ - طلاءات الأسفلت والكولتار تستخدم عادة لحماية الأسطح الخارجية للمنشآت المعدنية المدفونة مثل خطوط المواسير أو لقاع السفلى للخرانات المعدنية. لأن طلاء الأسفلت قابل للإذابة فى الهيدروكربونات، فإنه يجب أن يستخدم فى التربة المشبعة بالزيت. إيبوكسيات الكولتار، الإيبوكسيات، الفينولات ، البولى يوريثين (Polyurethanes) ، البولى إيسترز، البولى فينيل كلوريد (PVC's) هذه المواد تستخدم عادة للبطانة الداخلية، كما أنه يمكن كذلك أن تستخدم على الأسطح الخارجية، بما فيها خطوط المواسير المدفونة. الطلاءات الخارجية PVC غير مناسبة فى وجود الهيدروكربونات السائلة ، رغم أنها تتحمل المياه المحتوية على زبد من الزيت ، وذلك طالما أن الزيت لا يمكن تجميعه فى مجال مستمر.

الفينولات ، الإيبوكسيات ، البولى يوريثينات تكون عادة محدودة بسماك 8 ملليمتر فى حالة الجفاف وذلك لحدوث القصف (الهشاشة) فى حالة زيادة السمك لطبقة الطلاء، ولكن أدنى سمك لا يقل عن 5 ملليمتر.

تستخدم أحياناً الطلاءات المسلحة بالصوف الزجاجى أو شعيرات الأسبتوس أو الصفائح الزجاجية وذلك لتوفير زيادة فى سمك طبقة التغطية بالإضافة إلى توفير قوة إضافية ومقاومة للاحتكاك. عادة تستخدم راتنجات الإيبوكسى والبولى إيستر فى نظم التسليح الزجاجى ، وإن كانت البلاستيكات الأخرى يمكن أن تستخدم.

### مواد التغطية الغير عضوية : Inorganic Coatings

مواد التغطية الغير عضوية تشمل كلاً من مواد التغطية الضحية (Sacrificial) التى توفر الحماية الكاثودية عند الثقوب والتلفيات الصغيرة فى طبقة التغطية، مواد التغطية الغير ضحية والتى توفر فقط الحماية للسطح المغطى.

الطلاءات الضحية تشمل الجلفنة أو التغطية بمعدن آخر أنودى بالنسبة لمعدن الأساس وعوالق ثقيلة (Heavy suspensions) من جسيمات الزنك فى سائل الحمل من السليكات أو المواد العضوية. نظراً لأن سائل الحمل (Vehicle) العضوى الغير موصل، فإن طلاءات الزنك - العضوية يكون تأثيرها أقل فى حماية المعدن عند الثقوب والتلفيات فى طبقة الطلاء من طلاءات الزنك - السليكات أو الجلفنة. الرقم الهيدروجينى (pH) للمجال الملائق هام. حيث المجال الملائق شديد القلوية أو شديد الحموضة سيعمل على الإزالة السريعة للطلاءات الأنودية.

طلاءات الزنك أو البطانة من طلاءات الزنك يجب عدم استخدامها فى حالة الغمر فى درجات الحرارة الأعلى من العادية ، ذلك إلا فى حالة أن الاختبارات أظهرت صلاحية الزنك . الزنك يعمل على تغيير الاستقطاب (Reverse Polarity) مع الصلب عند درجات الحرارة المرتفعة فى كثير من الإليكتروليت (Electrolytes) حيث يصبح عدوانى بالنسبة للصلب.

التغطية الغير عضوية والغير ضحية أى التى لا تتآكل تشمل التغطية بمعدن كاثودى بالنسبة لمعدن الأساس، مثل النيكل ، وكذلك التغطية بمواد غير عضوية أخرى مثل السيراميك. بالنسبة لأى طبقة تغطية كاثودية لتحقيق الحماية، فإنها يجب أن تكون سميكة وذلك لتوفير غطاء للمعدن بدون أى نفاذية ما بين السطح والأساس. يمكن استخدام النيكل بالترسيب الكهربى، أو بالطرق الكيماوية الغير كهربية. يمكن كذلك عمل التغطية المعدنية برش المعدن (Metallizing spray).

ولكن نظراً لأنه من المستحيل تقريباً الحصول على طبقة تغطية غير مسامية برش المعدن ، فإن هذه الطريقة لها استخدام محدود فى الحماية من التآكل.

الطلاءات السيراميك (Ceramic coatings) عند استخدامها بطريقة جيدة فإنها مؤثرة في الحماية من التآكل ولكن بسبب التكلفة العالية والهشاشة فإن استخدامها أصبح محدوداً فقط للمعدات الصغيرة. لقد ثبت نجاح السيراميك في تبطين المواسير بقطر 2" ومقاومة التآكل حيث كان حاملة للمياه المالحة المحتوية على كبريتيد الهيدروجين وثاني أكسيد الكربون لمدة ثلاث سنوات. طرق التوصيل تشمل الحام ، القلوظة. قبل التبطين بمادة السيراميك تم لحام سبيكة النيكل القصيرة (Iconel) عند كل وصلة، ذلك لتأكيد أن أى تلف للبطانة سيحدث فقط على معدن مقاوم للتآكل.

### طرق أخرى : Other systems

من بين الطرق الأخرى والتي ليست تغطية بالمعنى الصحيح وهذه تشمل الأسمنت البورتلاندى ومواد البلاستيك. لقد استخدمت الخلطة الأسمنتية من الأسمنت البورتلاندى والرمل للحماية الداخلية والخارجية للمواسير. التغطية وكذلك استخدام الشرائط الخارجية أفضل من الناحية الاقتصادية ، ولكن عندما يكون الوزن ضرورى فإنه يفضل التغطية بالأسمنت. التبطين بالمونة الأسمنتية لبعض الأوعية مثل المرشحات (Filters) مناسب. فى حالة الخزانات فإن التبطين بالمونة الأسمنتية يستخدم عادة للأرضيات.

لقد استخدمت المواسير المبطنة بالمونة الأسمنتية فى صرف المياه المالحة المحتوية على كبريتيد الهيدروجين لمدة 20 عام. التبطين بالمونة الأسمنتية يكون ناجحاً عند استخدام عمليات المراجعة والتفتيش أثناء التبطين والتداول والإنشاء للمواسير المبطنة. معظم التبطين بالمونة الأسمنتية يحدث له عدوانية بفعل الماء عند رقم هيدروجينى 5 فأقل، ويتلف تماماً بفعل الحامض. كما توجد بعض الشواهد أنه يمكن أن يتلف ببعض أنواع مثبطات الأمينات فى محلول الماء.

التبطين بمواد البلاستيك ثبت تأثيره فى الحماية الداخلية للمواسير وخط المواسير. بعض البطانات يتم لحامها فى الوصلات المنفردة للماسورة أو للمواسير،



والبعض الآخر يتم صهرها في شكل بطانة مستمرة قرب الوصلة خلال كل مقطع الماسورة أو عامود المواسير ، لهذا العمل ، فإن كل نهاية من التبطين تجهز باللحام لمنع دخول السائل خلف البطانة. وكذلك استخدام نظام مشابه حيث البطانات من نهاية إلى نهاية أخرى مستمرة ، بدون انصهار. كذلك استخدمت البطانات البلاستيك الغير مثبتة (Loose) في خزانات المياه المالحة.

الشرائط البلاستيك أثبتت الأداء الجيد في الحماية الخارجية لخطوط المواسير المدفونة، جنباً إلى جنب مع الحماية الكاثودية. الغلاف البلاستيك المسحوب على الأنابيب في المصنع ثبت نجاحه كذلك هذا الغرض.

#### اختيار مادة التغطية : Coating selection

الخواص الطبيعية التي يجب مراعاتها عند اختيار التغطية لاستخدام معين تشمل سمك طبقة التغطية الجافة، الالتصاق، التماسك ومقاومة درجة الحرارة العالية والمنخفضة وكذلك مقاومة النفاذية للسوائل والغازات. المقاومة الكيماوية المطلوبة تعتمد على المجال الملاصق. نظراً لأن مواد التغطية تختلف في الخواص وفي التكاليف، فإن الاختيار العملي هو الذي يمثل التسوية.

أهمية اختيار التغطية المناسبة لأداء مهمة معينة في مجال بيئي معين لا يمكن تأكيده، ذلك لأنه لا توجد طبقة تغطية عالية تناسب كل الظروف. ذلك لأن بعض هذه المواد يمكن أن يكون مقاوم للحامض ولكن مقاومته للمذيبات أو القلويات ضعيفة (مثل الزيت الخام أو الكحول) مع قليل فقط من الخواص الميكانيكية المناسبة. نوع آخر قد يوفر القوة ومقاومة الاحتكاك ولكن مقاومة الحامض تكون ضعيفة. ونوع آخر قد تكون مقاومته الكيماوية محدودة ولكن قوة الالتصاق والمرونة جيدة. نوع آخر يوفر الحماية لمدة 20 عاماً ولكن المنشأ يكون له عمر افتراضي 10 سنوات فقط. لقد اختبرت مواد التغطية بواسطة الصناع والمستخدمين لمئات من المكونات وذلك من أجل الوصول إلى منتج عملي واقتصادي. عند اختبار طبقة التغطية لمشكلة معينة فإنه يكون من الضروري إختيار

المنتجين والمستخدمين ذوي السمعة والخبرة في هذا المجال، وإخطارهم بالبيانات المتاحة وظروف التغطية ثم الأخذ بما يتم اقتراحه.

### إختيار القائم بتنفيذ التغطية :

التغطية الجيدة تحتوى على ثلاث عوامل (1) مادة تغطية جيدة (2) التنفيذ باستخدام معدة هندسية للأداء الجيد (3) خطة جيدة شاملة مراقبة الجودة. لتأكيد الأداء الجيد يكون من الضروري إختيار القائم بالتنفيذ الذى لديه القدرة والخبرة نحو إعداد السطح وكذلك طريقة تنفيذ التغطية نحو استخدام مادة معينة بدرجة عالية من الثقة.

### اختيار البنود للتغطية : (Selection of Items for coatings)

يتم إختيار البنود ذات الفرصة المقبولة للتغطية بنجاح ذلك لتغطيتها. الأسطح المعدنية ذات البروزات ، الأطراف الحادة، الشقوق (Slivers) ، بقع وطرشة اللحام ، الجيوب عند اللحامات ، أو الخشونة الزائدة أو الثقوب هذه تتطلب أعمال مسبقة لإعداد السطح قبل وضع طبقة التغطية.

عند إمكان الوصول إلى الأسطح كما فى حالة الخزانات ، فإنه يمكن إصلاح بعض من عيوب هذه الأسطح. ولكن يصعب تنفيذ ذلك داخل المواسير. عند استخدام التغطية من الحماية الكاثودية كما فى حالة الأسطح الخارجية لخطوط المواسير المدفونة والخزانات ، فإنه يمكن التجاوز عن بعض العيوب فى المعدن ذلك لأن الثقوب فى طبقة التغطية يمكن حمايتها بالتيار المستخدم للحماية الكاثودية.

### استخدام التغطية فى معدات إنتاج الزيت والغاز :

### الخزانات والأوعية الأخرى :

بخلاف المظهر، فإن الحماية الخارجية تكون ضرورية فقط فى ساحل البحر وفى المناطق الصناعية حيث توجد الغازات الحامضية. فى الأجواء الرطبة وخاصة فى المناطق الساحلية فإنه ينصح باستخدام طبقة التغطية التى تكون أنودية بالنسبة للصلب مثل الجلفنة أو سيليكات الزنك (Zin-Silicate) . عادة تتم الحماية الداخلية للأوانى المعدنية

بالتغطية كلما أمكن ذلك لمنع دخول الهواء. عادة أكثر منطقة داخلية حساسة هي السقف والجانب السفلى والأرضية.

### الخطوط السطحية والوصلات : Surface Lines and Fittings

الخطوط والوصلات الغير مدفونة عادة لا تحتاج إلى الحماية الخارجية عدا في حالة المناطق المتاخمة لشاطئ البحر. في كثير من المناطق يجب حماية الخطوط المدفونة والغاطسة بالتغطية واستخدام شرائط التغطية (Wrapping) وكذلك بالحماية الكاثودية. داخلياً يمكن الحماية بالتبطين بالمواد العضوية أو الأسمنتية أو بالبلاستيك. مواد التغطية للتبطين الداخلى يجب أن تقاوم العوامل الكيماوية وعوامل الاحتكاك للسائل بداخلها. فمثلاً فقد وجد أن 20 جزء في المليون من مثبط عضوى في ماء الحقن قد تسبب في تشقق طبقة البطانة من البلاستيك. ذلك لأن المثبط لكونه له نشاط سطحي ، مركز عن سطح البلاستيك ويكون 100% من السائل المحمول بما يحدث التأثير على البطانة.

عند اختيار التغطية يجب مراعاة الظروف المحتملة مستقبلاً فمثلاً، في حالة المياه المحتوية على الأكسجين وذات المحتوى القليل من المواد الصلبة فإن الجلفنة يمكن أن توفر الحماية ، ولكن في حالة استخدام الخطوط فيما بعد لحمل المياه الغير محتوية على الأكسجين والمحتوى على كبريتيد الهيدروجين وثانى أكسيد الكربون فإن الجلفنة سوف تزال. بعض مواد التغطية العضوية مناسب فقط في عدم وجود الزيت، يتم استخدام هذه بحذر ذلك لأن معظم مياه حقول البترول يصعب أن تكون خالية من الزيت.

### خطوط الهيدروكربون غاز وسائل : Hydrocarbon Lines - Gas and Liquid

خطوط المواسير الحاملة للمواد الهيدروكربونية السائلة أو الغازية يكون لها مشكلة تأكل داخلى فقط في حالة وجود الماء. عند التبطين الداخلى لهذه الخطوط فإنه تستخدم عادة المواد العضوية للتبطين. في حالة توصيل الخطوط باللحامات، فإنه تستخدم وصلات لحام من نوع خاص لمنع حدوث التلف للبلاستيك بفعل حرارة اللحام.

التغطية الداخلية لخطوط الغاز التى تعمل عند ضغط أعلا من مائة رطل تستخدم فقط مع معرفة أن الانخفاض السريع في الضغط قد يسبب فصل طبقة التغطية. الخطوط

الحاملة للزيت ، الغاز والماء ، مثال لذلك الخطوط ما بين الآبار وبطاريات الخزانات (خطوط التدفق) يتم أحياناً تغطيتها الداخلية بالبلاستيك، أحياناً التبططين بالمونة الأسمنتية أو بتوفير تبطين مستمر من البلاستيك بين الوصلات.

### خطوط المياه : Water lines

في خطوط مواسير يمكن تبطينها بالبلاستيك، والأسمنت سواء كانت خطوط الإمداد أو الحقن. حالة المواسير ومكونات الماء وعوامل أخرى بالإضافة إلى الاعتبارات الاقتصادية هي التي تحدد نوع مادة التبططين. في حالة المواسير الجديدة فإن طبقة التغطية الداخلية الرقيقة تعطى نتائج جيدة. ولكن في حالة كل من المواسير الجديدة والمواسير المستخدمة حيث توجد الثقوب فإن طبقة البطانة السميكة أثبتت نجاحها. بعض مواد التغطية تتأثر بفعل الزيت أو آثار الكيماويات الأخرى، لذلك فإنه من المهم اختيار مادة التبططين المناسبة. بعض أنواع مواد التغطية العضوية تكون كافية جداً لخدمة نقل المياه. المياه المحتوية على الأكسجين والتي لا تحتوي على كبريتيد الهيدروجين والتي ليست ذات ملوحة عالية يمكن تداولها خلال مواسير مجلفنة أو مبطننة بالزنك - سيليكات، كما أن المواسير المبطننة بالمونة الأسمنتية أعطت نتائج ممتازة. ولكن البطانة الأسمنتية يمكن أن تتلف في حالة انخفاض الرقم الهيدروجيني للماء أو في حالة تجمد الخط (Freezing) . كما توجد شواهد أن بعض المثبطات يمكن أن يسبب التلف للبطانة الأسمنتية.

البطانات من البلاستيك سواء المستمرة أو ذات الوصلة المستقلة ثبت نجاحها كذلك. ولكن التبططين بالبلاستيك يحدث له تلف بسبب التغيرات في درجة الحرارة.

### معدة رأس البئر : Wellhead Equipment

في الأجواء الجافة ، عادة المعدة رأس البئر لا تحتاج إلى حماية خارجية. في الأجواء الرطبة وخاصة الساحلية والبحرية فإنه ينصح بالتغطية بالمواد الأنودية بالنسبة للصلب. للحماية الداخلية لمعدة رأس البئر ذات الضغط العالي ، فإن أفضل الحلول هو بصناعة المعدة من سبيكة مقاومة للتآكل أو باستخدام المثبطات.



### معدة أسفل الفتحة (الثقب) : Downhole Equipment

فى حالة الضغط العالى لتدفقات الغاز، والمكثف، أو آبار الزيت وفى آبار رفع الغاز، فإن التبطين الداخلى للمواسير هى الطريقة المناسبة لمقاومة التآكل. يستخدم عادة طبقة رقيقة للتغطية ذلك أن ظروف درجة الحرارة والضغط و/أو مكونات السائل لا تتوافق مع الطبقات السميكة. كإجراء تأكيدى فقد استخدمت بعض الشركات المثبطات جنباً إلى جنب مع مواد التغطية. توجد بعض الخبرة أن الثقوب الصغيرة (Minute Holidays) لا تسبب التآكل ، ولكن الحجم الحدى لتقويات الدهان هذه المتروكة عرضاً الواجب الوصل إليه قبل حدوث التآكل لم يتم تحديده كما لا توجد طريقة عملية للتعين الروتينى لحجم هذه الثقوب الصغيرة لتقويات الدهان. ولكن التغطية المزالة جزئياً قد تعمل على إطالة عمر الماسورة وذلك فى حالة وجود علاقة مناسبة ما بين الكاثود والأنود.

خطوط المواسير فى إمدادات المياه وآبار الحقن تم حمايتها من التآكل بنفس الطرق كما فى حالة خطوط مواسير المياه السطحية، وتتحدد الطريقة طبقاً لكل حالة. فمثلاً ، الطول للمواسير المبطنة بالمونة الأسمنتية يتحدد طبقاً لضغط التشغيل المسموح به فى الماسورة. استخدام المواسير فى مجال خدمة المياه عادة لها سطح داخلى خشن بحيث أن طبقة التغطية الرقيقة لا يمكن استخدامها بدون وجود تقويات فى الدهان. درجة الحرارة المرتفعة قد تمنع استخدام بعض مواد التغطية.

التغطية لأجزاء جسم عازلة الإنتاج (Packer body parts) أسفل مطاطات وحدة تجميع ضبط التدفق (Pack off rubbers) ، وجد أنه يزداد عمرها فى الآبار العدوانية. قد استخدم كلاً من التغطيات من المواد العضوية والتغطية من محلول ترسيب فوسفات النيكل حيث ثبت فائدتها. السطح الداخلى لعازلة الإنتاج (Packer)، لأنه جزء من عامود المواسير (tubing string) فإنه يتم تغطيته بنفس التغطية للمواسير.

### منصات الحفر والإنتاج : Drilling and production ptat forms

فوق منطقة الطرطشة (Splash zone) استخدمت أنواع مختلفة من مواد التغطية العضوية والغير عضوية. مادة التغطية المفضلة هى سيليكات الزنك (Zinc-silicate) ،

هذه التغطية توفر الحماية الكاثودية عند التلغيمات الصغيرة في التغطية كما في حالة الجلفنة. في الواقع ، تستخدم كثيراً من الأجزاء الصغيرة جداً المجلفنة على المنصات باستخدام التغطيات الغنية بالزنك. لحسن المظهر ولتوفير حماية إضافية، فإن التغطيات الغنية بالزنك عادة يتم تغطيتها بالمواد العضوية.

نظراً لأن صيانة التغطية في منطقة الطرشرة تعتبر غير عملية فإنه يعتمد على الصلب السميك أو التغطية بمعدن مقاوم للتآكل لحماية المنطقة.

أسفل خط المياه ، فإن من الفضل من الناحية الاقتصادية ترك الصلب عارياً مع الاعتماد على الحماية الكاثودية.

### الاستعمال التطبيقي للتغطيات : Application of Coatings

#### اعتبارات عامة :

الطريقة المناسبة لعمل التغطية تتوقف على نوع مادة التغطية، وظروف الاستخدام واعتبارات اقتصادية. السوائل العضوية يمكن استخدامها بالرش أو بالفرش أو بالرولة. الأجزاء الصغيرة يمكن غمرها. المسحوق العضوي يمكن استخدامه على المعدن الساخن بالرش أو بواسطة عملية الطبقة السائلة (Fluidized bed process) . التغطية المعدنية كما في حالة الجلفنة يمكن استخدامها بغمر الأجزاء في المعدن المنصهر، بالترسيب الكهربى ، أو برش المعدن المنصهر على معدن الأساس (Metallizing) . عموماً استخدام طبقة التغطية يتم طبقاً لتوصيات المنتج.

التغطية يمكن أن تتم في المصنع أو في الموقع، ولكن التغطية في المصنع هي الأفضل لتوفر الظروف المناسبة. التغطية الخارجية تتم عادة في الموقع فوق الحفر لخطوط المواسير. كما يتم كذلك التبطين الداخلى في الموقع لخطوط المواسير القديمة والجديدة عادة بطلاءات الإيبوكسى مع عامل وسيط (Catalyzed Epoxy coatings) . النظافة والتبطين يتم تنفيذها بدفع مكشطة أسطوانية (Pigs) ومواد أخرى خلال الخط. فتحات الخط كانت بفواصل حتى 20 ميل. استخدم التبطين في الموقع كذلك للحد من البارافين وزيادة التدفق. كما استخدم كذلك للحماية من التآكل بنجاح قليل، ذلك لأنه لم يكن من الممكن الحصول على سطح نظيف تماماً.

### المهمات الأنبوبية : Tubular Goods

إعداد السطح : من الضروري الإعداد الجيد للسطح. يتم ذلك أما بالتسخين حتى جوالى 400م أو بالغمر فى الحامض أو القلوى/ وحمامات الماء، يجب إزالة كل المواد الصلبة المتصلة والمتصصة. للتسخين أقل احتمالاً فى ترك الغازات المتصصة على سطح المعدن عن المعالجة بالحامض.

بعد النظافة الجيدة والتنظيف ، يتم الترميل للسطح حتى الوصول إلى سطح معدنى أبيض لامع. فى حالة التغطية الرقيقة ، فإن أقصى فرق بين الارتفاع والانخفاض يجب أن يكون 2 ملمتر ولا يقل عن واحد ملمتر. الفروق الأكبر ممكنة ولكن فى حالة زيادة سمك طبقة التغطية، وعموماً هذا الفرق يجب إلا يزيد عن ثلث متوسط سمك طبقة التغطية.

تنفيذ التغطية : الأسطح التى تم ترميلها يتم تغطيتها فى نفس يوم العمل وفى الحال بعد الترميل وإزالة كل الأتربة ومواد الحك ، وذلك قبل تكون طبقة الصدأ.

طبقات التغطية ذات السمك الرقيق بالتسخين ، مثل الفينولات الثيرمو بلاستيك والإيبوكسيات ، يتم تنفيذها على عدة طبقات. لإزالة المذيبات ، وأى ماء أو مكثفات، يستخدم التسخين بدرجة حرارة منخفضة بين كل طبقة. بعد نهاية كل طبقة، فإن التسخين عند درجة حرارة أعلا تكمل المعالجة والانضاج (Curing) . فى حالة حدوث الانضاج الزائد فى مرحلة التسخين المتوسط (Intermediate Baking) فإنه يكون الرباط بين الطبقات ضعيف وقد يحدث فقد للترقيق (Delamination) . كما أن عدم الانضاج الكافى بين الطبقات يسبب فقاعات.

طبقات التغطية السميكة مثل الكولتار إيبوكسى ، البولى إستر المعالج بالحرارة، الفينيل البلاستيك (Vinyl Plastics) للمعالج بالحرارة، كل هذه تستخدم فى طبقة واحدة أو أكثر من طبقة. وهذه تشمل طبقة البطانة (Prime coat) ، وواحدة أو أكثر من طبقات الضهارة. أفضل استخدام يتحقق عند عدم إضافة المذيب. الانضاج والمعالجة المناسبة بين الطبقات يعتبر أساسى لتوفير الرباط الجيد بين الطبقات.



التغطيات بالعوامل الوسيطة (Catalyzed Coating) تتضح عند درجة الحرارة العادية أو حتى 82م تقريباً. التغطيات التي تعالج بالحرارة يجب تسخينها عند 94 أو 177م.

التغطيات التي تلتصق بالانصهار تستخدم بتغطية سطح المعدن عند 205 إلى 232م بحبيبات الراتنج التي يحملها الهواء. الراتنج ينصهر ويتراكم حتى السمك المطلوب، وهذه تعرف بعملية الطبقة المسالة (Fluidized Bed Process). بعد التغطية، فإن إعادة التسخين تسبب تدفق الراتنج معاً واستكمال نضجه. لا تستخدم المذيبات. الراتينجات المستخدمة عادة بطريقة الانصهار والالتصاق هي الإيبوكسيات والبولي إيثر الكلور، كذلك يمكن استخدام كثيراً من الراتينجات الأخرى.

التغطية المنبثقة عن المذيب مثل الفينيل والفيورينات المعدلة (Vinyls and Modified Furanes)، تقع ضمن تقسيم الطبقة الرقيقة متعددة طبقات التغطية (Multiplecoat thin film)، والوصول إلى أقصى إنضاج، فإنه يمكن الإنضاج عند 65م أو أقل، بعد إزالة معظم المذيب. لقد استخدمت بنجاح التغطيات بالإيبوكسي والبولي إيثر المقوى بالصوف الزجاجي للحماية الخارجية للمواسير الموجودة خلال عوازل الإنتاج (Backers) لإنتاج مناطق سفلى، ولكن التعرض للسوائل العدوانية من المناطق العليا (Upper zones) أنتج ثقوب خلال القيسون. كذلك تم حماية قيسون المحرك الكهربى الغاطس للبئر العميق.

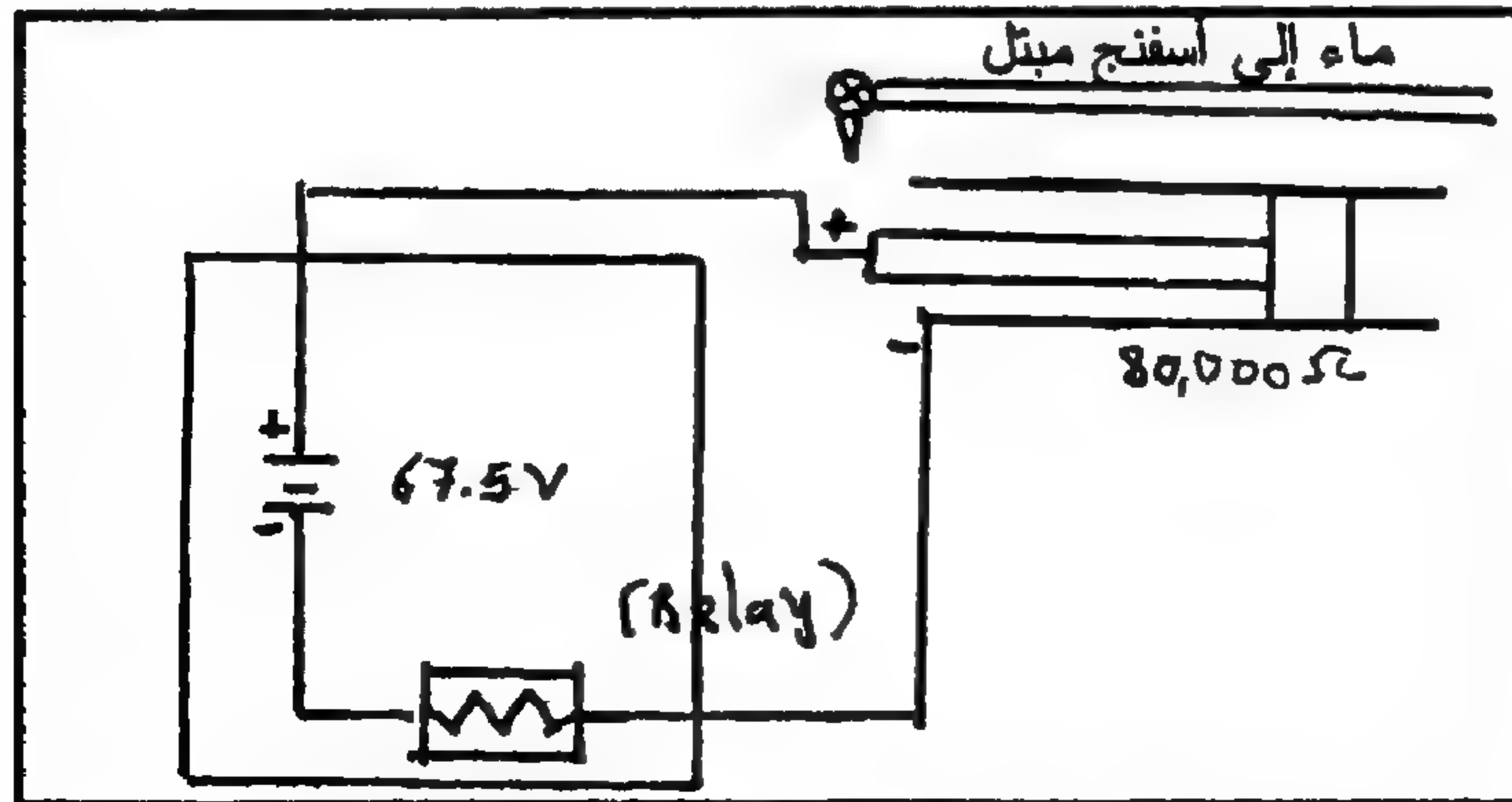
### التفتيش : Inspection

يتم توفير التفتيش خلال عملية التغطية لتأكيد النظافة التامة للأسطح وإعدادها بالترميل وتنظيفها وتجفيفها قبل التغطية. كما يجب مراعاة تجانس استخدام التغطية وأن عمليات التغطية والتداول تؤكد التنفيذ المتجانس والإنضاج للبطانة، الطبقة الوسطى والطبقة النهائية. تتم المراجعة الكافية بعد النضج لتأكيد السمك المناسب للطبقة وذلك باستخدام المقياس المغناطيسى للسمك (Magnetic thickness gauge). يمكن أخذ عينة ممثلة للواقع المراجعة الالتصاق، وعدم وجود شرائح (Laminations) وتمام الإنضاج.

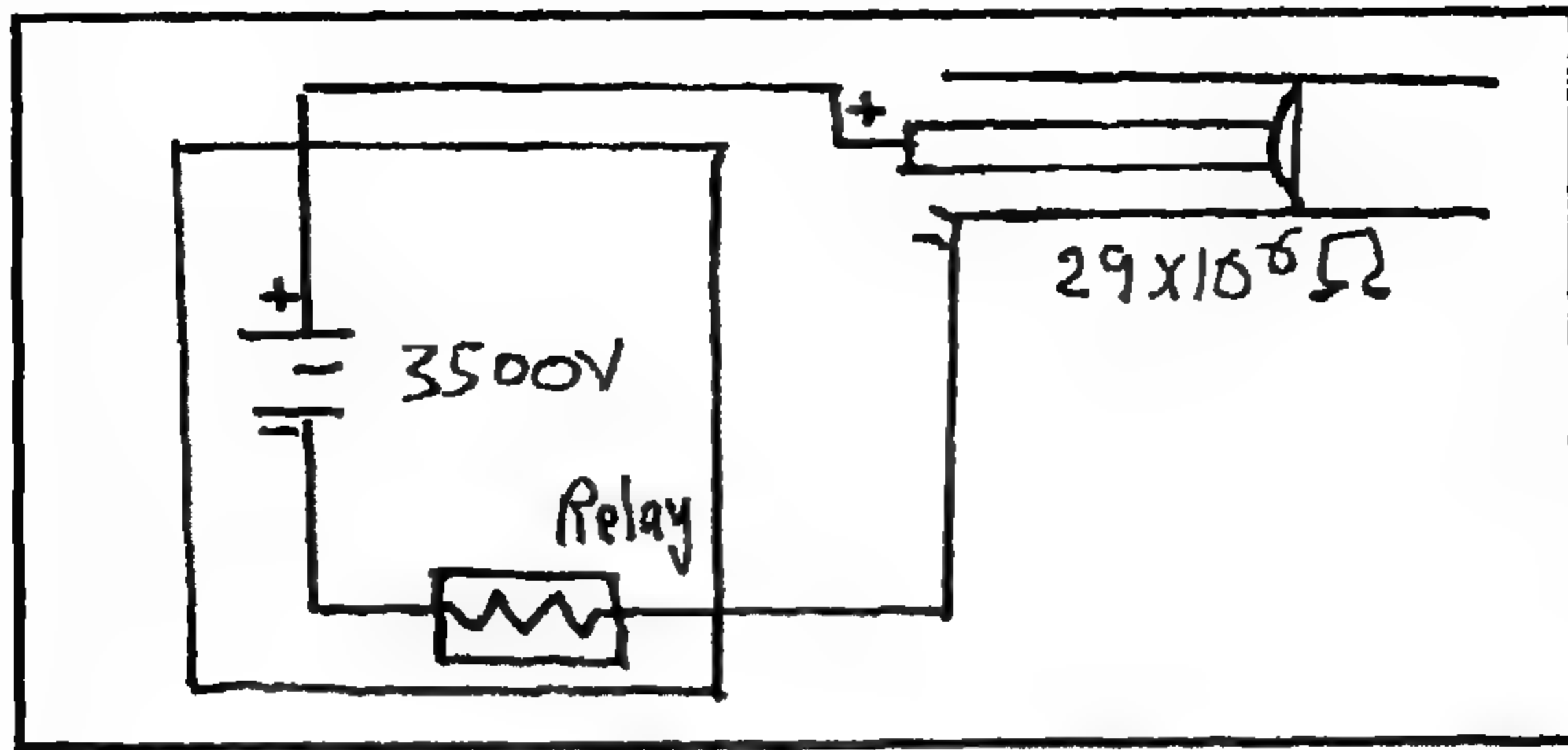


إنضاج بعض التغطيات يمكن مراجعته بدون إتلاف لطبقة التغطية وذلك بالتصاق الغطاء مع بعض المذيبات.

كذلك تتم مراجعة التغطية بالنسبة لتقويّات الدهان (Pinholes) . فى حالة طبقة التغطية الرقيقة فإنه يستخدم كاشف تقويّات الدهان منخفض الفولت بالرسابة المهبطية الرطبة (Low voltage wet sponge holiday detector) . الشكل (7/1) يوضح دائرة الجهازه الماء المستخدم فى الرسابه المهبطية الإسفنجية (sponge) يجب أن يحتوى على حوالى 0.5% كلوريد صوديوم والكافى من ماء المنظف لسهولة بلل السطح المطلوب تفتيشه . يجب أن تكون سرعة الرسابة المهبطية الإسفنجية بطيئة بما يمكن من الكشف على تقويّات الدهان . يتوقف حجم وأقل عدد لتقويّات الدهان على نوع الخدمة . إذا كانت طبيعة الخدمة أن نواتج التآكل التى تتكون سوف تسبب الانسداد لتقويّات الدهان هذه، فإن التسامح فى تقويّات الدهان سيكون أقل حدة. فى حالة الطلاءات بالتغطية بالطبقة السميكة فإنه يستخدم كاشف تقويّات الدهان من نوع الشرارة (Sparktype holiday detector) شكل (7/2). لتجنب حرق الثقوب فى التغطية فإنه يجب التحكم فى الفولت والتيار بالنسبة لطبقة التغطية المتضمنة. كقاعدة مقبولة بالنسبة لطول الشرارة فى الهواء هو أربع أضعاف سمك طبقة التغطية. بعض خبراء التفتيش وجدت أن الجهد الجاف للشرارة 3500 فولت كافى جداً للتغطية بسمك 20 ملليمتر. يمكن استخدام كاشف تقويّات الدهان منخفض الفولت بالرسابة المهبطية الرطبة (Sponge type Detector) شكل (7/1) فى حالة طبقات التغطية الأقل فى السمك.



شكل (7/1) مخطط الدائرة لجهاز اختبار الطبقة الرقيقة لتقويّات الطلاء



شكل (7/2) مخطط الدائرة لجهاز اختبار الطبقة السميكة لتقويات الطلاء

## النقل والتداول :

طلاءات التغطية معرضة للتلف الميكانيكى. لذلك فإنه من الضرورى تجنب التصاق طلاء التغطية بالأغراض الصلبة، وخاصة تلك الأغراض ذات السطح الخشن. بعد التغطيات تكون هشة (ذات قصافة) إلى حد ما لذلك فإن يجب تجنب كل ما من شأنه تغيير الشكل. فمثلاً الماسورة ذات البطانة الداخلية يجب عدم ارتطامها مع الجدار على الأرض. المهمات المستديرة ذات الطلاء الخارجى يتم نقلها مع وجود وسادة بين صفوف المواسير ومربوطة إلى أسفل. يتم استخدام حبال الرفع فى حالة التحميل والتنزيل. لتجنب حدوث الإلتواء يتم تحميل المواسير ذات القطر الصغير على عربة ذات سطح تحميل مستوى.

كذلك فإن المواسير والأنابيب بالبطانة الداخلية يتم نقلها بالطريقة التى تمنع الإلتواء. يتم استخدام الوسادة بين الصفوف ، وكذلك التثبيت لأسفل بالطريقة التى تجنب تشوية شكل الماسورة عند نقط الضغط يجب منع حدوث التصاق نهايات المواسير بالقوة أو بحركة المؤخرة . يجب تجنب استخدام الخطافات أو أدوات التحميل المشابهة لإدخالها فى نهايات المواسير. يتم استخدام عمليات النهاية (Protectors) على كلا النهايتين للمواسير، مع ترك سدادات الحماية هذه لحين إنشاء الخط أو عامود المواسير فى البئر.

## الإشياء :

إنشاء عامود الأنابيب (Tubing Strings) يتطلب التداول بطريقة تمنع حدوث التشقق للبطانة الداخلية وذلك بالتواء المواسير الغير ضرورى، الإزاحة لطبقة التغطية من البلاستيك

فى النهايات ، وتغيير شكل الماسورة بالضغط بمقاط الأنابيب (tong Pressure) ، أو الارتطام مقابل أغراض صلبة، أو بالالتصاق الداخلى للماسورة مع أغراض صلبة . يتم استخدام دليل التوجيه (Stobbing Guide) لمنع ارتطام نهايات مسمار المحور بالجلب المسننة لربط ماسورتين (Collars) ، يتم استخدام مقاط الأنابيب (tongs) ذو لقم لولبة (Dies) ذات انحناء متسع ، وذلك لتجنب تشويه شكل المعدن. فى حالة الاختبار الهيدروستاتيكي لمراجعة الوصلات بالنسبة للتسرب بالجهاز المنفرج مانع التسرب (Straddle Packer tool) ، فإنه يتم تجنب الانخفاض المفاجئ فى الضغط وذلك لمنع حدوث الانفصال لطبقة البطانة. كذلك يجب الحرص نحو منع عوازل الإنتاج من أن تسبب التلف بالاحتكاك للبطانة. يفضل عدم استخدام هذه الأدوات ما أمكن. إنشاءات خط الأنابيب تتطلب نفس الاحتياطات كما فى حالة عامود المواسير.

#### التعارف :

كل الآبار المحتوية على مواسير مغطاة ومبطنة يتم تعريفها وتسجيلها، وكذلك كل الأفراد العاملين يتم تلقينهم نحو التداول للسليم للمواسير من هذه الآبار.

#### التشغيل :

أثناء التشغيل لأى نظام به مواسير أو أنابيب مبطنة بطبقة حماية داخلية ، فإن الخطر الرئيسى يتمثل فى الإزالة الموضعية لطبقة البطانة وذلك عند استخدام خطوط السلك أو أى أغراض أخرى وكذلك الشق والفصل للبطانة بفعل الانخفاض المفاجئ فى الضغط ، وهذا الأخير ينطبق عملياً على آبار ضغط الغاز العالى المكثف .

#### التسجيلات : Records

يتم استمرار التسجيل لخدمة طبقات التغطية لتعيين قيمة الخدمة للطلاء. وهذه تشمل، تاريخ التنفيذ، المكان، وصف لظروف الاستخدام، اسم المنفذ، التعرف على الطبقة، تاريخ ووصف تحضير السطح، وتاريخ وقت الانتهاء ، تاريخ ووقت التنفيذ كل طبقة، درجة الحرارة والرطوبة أثناء تنفيذ طبقات التغطية ، إجمالى سمك طبقة التغطية الجافة، نتائج اختبارات تفويطات الدهان. كذلك يتم ملاحظة الظروف الغير عادية وتسجيلها أثناء أى

تفتيش وهذه تشمل التفتيش الأولى، أى تفتيشات نفذت أثناء الخدمة، وتفتيش أى مهمات مغطاة أزيلت من الخدمة.

### الخزانات والأوعية : Tanks and Vessels اعتبارات عامة :

تتم التغطية للخزانات والأوعية لمقاومة التآكل ، والمحافظة على الأحجام المعاييرة فى خزانات المعاييرة الآلية للزيت الخام. أنواع التغطيات تشمل الفينولات الساخنة (Baked Phenolics) أو الأيبوكسيات الساخنة ، الفينولات المطورة ، الإنضاج بدرجة الحرارة العادية أو الطلاءات ذات الإنضاج بالعامل الوسيط مثل الأمينات ، أو ناتج إضافة الأمين (Amine Adduct) أو (Polyamide Cured Epoxies, Amine Cured Epoxy, Modified Phenolics and Amine or Polyamide Cured Cool Tar Epoxies) أو الطلاءات من الأسفلت أو الكولتار على الساخن ، البولى إيستر الخالى من المذيب والإيبوكسيات. هذه الطلاءات تتم إما فى المصنع أو بواسطة العامل بعد الإنشاء فى الموقع. اختيار الطلاء يتوقف على اعتبارات اقتصادية وظروف الاستخدام وخبرة مستخدم الطلاء ، فى حالة استخدام الحماية الكاثودية بالإضافة إلى الطلاء ، فإنه يلزم استخدام نظام طلاء مقاوم للفصل.

### خزانات الماء وخزانات ماء الزيت الخام :

التغطيات المستخدمة عادة لخزانات المياه ولخزانات ماء الزيت الخام هى الإيبوكسيات والكولتار أيبوكسى. وهذه توفر خدمة ممتازة فى كل من الماء والزيت الخام عند 60°م أو أقل كما تعمل بنجاح عند درجة حرارة حتى 82°م لفترات زمنية قصيرة. كذلك طلاءات الفيثيل والكولتار لهم قيمة فى بعض الاستخدامات.

### المرشحات الرملية السريعة :

يجب أن يكون الطلاء للمرشحات الرملية السريعة قادراً على مقاومة التلف بالاحتكاك وذلك عند تقلب الوسط الترشيحي، وكذلك مقاومة التلف الميكانيكى عند تغيير طبقة الترشيح. الطلاءات التى استخدمت بنجاح هى البولى إيستر المقوى بالصوف الزجاج أو



الأيوكسيات. أو المقوى بالصفحات الزجاجية. وهذه المواد استخدمت بنجاح فى حالة المرشحات الدياتومية (Diatomaceous Earth).

### خزانات المعايرة الآلية Automatic Gauging Tanks

خزانات المعايرة الآلية تتطلب طلاء مقاوم لكل من التآكل وترسيب البارافين. الفينولات المستخدمة على الساخن فى المصنع والأيوكسيات الفينولية المطورة عادة تنفذ بواسطة صناعات الخزانات. الأيوكسيات المطورة والأيوكسيات الفينولية المطورة ستكون كافية وذلك عند عدم توفر إمكانيات للتسخين. عدادات الإزاحة الموجبة يتم تبطينها بالطلاءات على الساخن من بين للنظم الناجحة فى تلك الخدمة هى البطانة من الفينولات زائد طبقات التغطية من الأيوكسيات الفينولية المطورة حتى سمك 6-8 ملليمتر.

### معالجة الحرارة: Heat Treatments

معالجات الحرارة بامتناء ماسورة للهب يمكن حمايتها بنفس الطلاءات كما فى حالة الخزانات، شريطة إلا تزيد درجة حرارة الماء عن 60م. سيليكاات الزنك للغير عضوية والطلاءات المقاومة للحرارة الأخرى قللت من تآكل ماسورة الهب فى بعض الحالات ، ذلك قد يكون بسبب خفض ترسيبات القشور والنقط الساخنة.

### ناقلات البترول الخام: Crude Oil Tankers

عند حمل الزيت الخام الخالى من كبريتيد الهيدروجين واستخدام الصابورة (لحظ التوازن) من مياه البحر، فإن التغطية بالطلاء بسيليكاات الزنك أثبت نجاحه.

### خزانات حفظ الزيت الخام :

عادة الذى يلزم حمايته هو القاع والجزء السفلى من جدار الخزان حتى 18 إلى 24 بوصة. وهذا هو المقطع العرضى للماء. أحيانا يلزم حماية الجانب السفلى للسطح والجدار الداخلى حتى تمام منسوب الزيت. عند الحاجة إلى حماية كلا من الجانب السفلى للسقف والأرضية ، فإن تكلفة التغطية الداخلية الكلية للخزان تكون أقل. مواد التغطية للحماية تشمل إيبوكسيات الكولتار، الإيبوكسيات عالية القوام والبولى أيستر المسلح بالقشور الزجاجية صغيرة القطر، وذلك مع استخدام مواد ملئ أو بدون مواد الملئ ، يستخدم هذا

أحياناً لتغطية الأرضية والجزء السفلى من الجدار فقط. فى حالة تآكل القاع من أسفل، فإنه يتم التبطين براتنج مسلح بالصوف الزجاجى أو الخرسانة المسلحة بالصلب وذلك لإعطاء قوة للمنشأ.

### إعداد السطح Surface Preparation

العيوب فى سطح المعدن يتم التخلص منها بعملية التجليخ (Grinding) وذلك قبل إعداد السطح للتغطية. فى حالة عدم إمكان التخلص من عيوب السطح فإنه سوف يكون من الصعب جداً تغطية الغرض.. عموماً نفس الإحتياجات تتخذ لتحضير السطح قبل التغطية فى خدمة الغمر (Immersion Service) كما فى حالة التبطين الداخلى للمهمات الأبنوبية. يفضل الترميل لحين الوصول إلى المعدن الأبيض طبقاً لمعايير الوكالة الدولية لمهندسى التآكل (NACE). الشكل العام لسطح المعدن يجب أن يوفر الالتصاق بدون ظهور أجزاء بارزة من المعدن خلال طبقة التغطية. أدنى مستوى لإعداد السطح للتبطين بالراتنج المسلح بالصوف الزجاج أو بالصفائح الزجاجية يجب أن يكون قريباً من الترميل حتى المعدن الأبيض طبقاً للمواصفات القياسية لمعايير الوكالة الدولية لمهندسى التآكل رقم (2). قبل عمل الترميل النهائى يتم جليخ كل النهايات الحادة والبروزات أو كشفها (Chipped).

عندما تستغرق عملية إعداد السطح عدة أيام، يكون من الضرورى إزالة رمل الترميل (Blasting Sand)، بتفريغ السطح المعد (والذى تم ترمليه) يومياً. فى حالة عدم التغطية للجانب السفلى للسطح، فإنه يكون من الضرورى الكس بالسفح الهوائى لمنع الزيت الخام الموجود فى أحضان السقف والصدأ والقشور فى داخل السقف من السقوط وتلويث السطح المسفوح.

### تنفيذ التغطية: Coating Application

أساساً نفس الإحتياجات المطبقة فى حالة التغطية الداخلية للمهمات الأبنوبية، باستثناء أن فرص التلوث تزداد بسبب الحاجة إلى العمل داخل الوعاء. يمكن توفير الربط الجيد باستخدام الفرشاة للطبقة الأولى. كذلك فإن الطبقات الزائدة بالفرشاة على اللحامات ستقل من فرص وجود تفويطات الدهان.

الإنشاءات للتبطين المسلح بالصوف الزجاجي أو بصفائح الزجاج يتطلب أن التعقيم للبروزات السطحية مثل رؤوس مسامير البرشام، وكذلك الأجناب بالزوايا القائمة.. الخ. يمكن استخدام الراتنج المسلح بصفائح من الزجاج، المونة الأسمنتية (Grout) أو المعجون لهذا الغرض. يتم استخدام أقل كمية من المونة الأسمنتية أو المعجون الأسمنتى وذلك للمحافظة على رباط الراتنج وعدم فقده. يمكن عمل التبطين باستخدام بندقية الرش العادية والحصيرة الزجاجية أو البندقية قاطعة للزجاج والتي تدفع كلا من الزجاج والراتنج. فى حالة عدم التبطين الكلى للخران بالصوف الزجاجي، فإنه تتم التغطية بالأيبوكسى لقاع الجدار من 18 إلى 20 بوصة مع التطابق على البطانة من الراتنج المسلح بالصوف الزجاجي عند الأجناب لتوفير اللحام حتى نهاية الزجاج. يمكن استخدام الكولتار أيبوكسى على جزء الجدار فى حالة عدم استخدام الخزان فى خدمة الإنتاج.

#### التفتيش :

عملية اختبار طلاءات الأوعية تشبه تلك المستخدمة فى التغطية الداخلية للمهمات. يمكن استخدام جهاز الكشف بالرسابة المهبطية الرطبة (Wetsponge Detection) فى حالة طبقات التغطية السميكة. يتم الاختبار قبل الإنضاج النهائى (Final Cure) بحيث أن إصلاحات مطلوبة ستلتصق بطبقة التغطية. يتم اختبار البطانة بالراتنج المسلح بالصوف الزجاجي وعمل أى ترقيع أو إصلاح قبل التغطية بالغمر (Flood Coat) .

#### التسجيل :

يتم التسجيل المستمر لكل التبطين الداخلى للأوعية، كما فى حالة المهمات الأنبوبية تماماً. عند تعرض هذه الأوعية إلى التغير فى درجات الحرارة والرطوبة أثناء تنفيذ طبقات التغطية، فإنه يتم تسجيل هذه الحالات.

#### إجراءات الأمان :

نظراً لأن طبقات التغطية تحتوى على منيبات متطايرة، قابلة للاشتعال وسامة، فإنه يكون من الضرورى عمل إجراءات التهوية المناسبة وكذلك الاحتياجات ضد حدوث الحريق أو الانفجارات من المصدر الكهربى أو أى مصدر آخر للحرق. كذلك فإنه يجب

عمل الخلط بحرص شديد ذلك لأن بعض العوامل الوسيطة وعوامل التحفيز تتفاعل مع الراتنج محدثة انفجارات. نظراً لأن كل هذه المواد ضارة للعين والجلد فإنه يتم ارتداء نظارات الحماية ، قفازات مطاط ، وأكمام طويلة ، كما يجب توفير الماء للاستخدام فى حالة الالتصاق بالجلد ، أو العين ، حيث يلزم الغسيل الجيد للأيدى والوجه قبل تناول الطعام وأثناء فترات الراحة.

## 2- اختيار واستخدام المواسير الغير معدنية :

### مقدمة :

استخدام مواسير البلاستيك فى حقول زيت البترول أساساً بسبب عدم التآكل فى هذه البيئة حيث يحدث التآكل السريع للصلب. كذلك فإن مواد البلاستيك بسبب خفة وزنها وسرعة إنشائها بالإضافة إلى قلة تكلفتها فى كثير من الحالات، لهذا كانت مناسبة فى التصميمات الهندسية لخطوط المواسير. ولكن يجب معرفة أنه رغم عدم تآكل البلاستيك فى البكتروايت التربة أو المياه المالحة كما يحدث فى حالة الصلب، إلا أنها يمكن أن تضعف جداً فى هذه البيئات مع الوقت.

تعريف التآكل يشمل التلف أو الضعف للمادة بسبب عدوانية المادة فى البيئة الملاصقة. مع أخذ هذا فى الاعتبار، فإنه يمكن اعتبار اختيار ماسورة البلاستيك طبقاً لتعيين مقاومتها للتآكل فى البيئة المعينة التى ستعرض لها. بمجرد اختيار المادة التى سوف تقاوم البيئة الملاصقة فإنه يجب بحث ظروف الاستخدام مثل درجة الحرارة، متطلبات الإنشاء ، والاهتزاز ، مع دراسة البيئة الملاصقة وظروف الاستخدام، فمن المحمل وجود أن ماسورة البلاستيك هى الاختيار الاقتصادى المناسب بالنسبة لتصميم معين. مع الحرص اللازم نحو عمل اختبارات مراقبة الجودة فى مرحلة الإنتاج والإنشاء فى الموقع ، فإنه يمكن الحصول على نظام شبكة مواسير ممتازة.

## 1- أنواع المواسير :

يمكن أن يكون اختيار الماسورة الغير معدنية مشكلة ذلك بسبب الأنواع الكثيرة المتاحة. يمكن تقسيم المواسير إلى ثلاث أنواع رئيسية وهى :



### أ- مواسير النيرموپلاستيك بالبثق : Extruded Themoplastic Pipe

مواد النيرموپلاستيك هى تلك التى يمكن إعادة تسخينها ، وتليينها ، وإعادة تشكيلها بدون تلف أو فقد لخواصها. أنواع المواسير النيرموپلاستيك المستخدمة عادة هى:

- بولى فينيل كلوريد (PVC) .
- بولى فينيل كلورايد المكور (CPVC) .
- البولى إيثلين (PE) .
- البولى بروبيلين (PP) .
- البولى استيال (PA) .
- أكليرونيتريل بيوتادايئين - ستيرين Acrylonitrile Butadiene - Styrene (ABS) .
- سيليلوز أسيتيت بيوتيريت (Cellulose Acetat Butyrate (CAB)).

كل هذه المواد يتم تصنيعها بتسخين بودة المادة الخام إلى نقطة الانصهار وذلك لحدوث الانصهار والبثق لهذه المادة خلال القوالب (Dies) لتشكيلها فى شكل الماسورة. الماسورة اللينة الساخنة يتم تبريدها فى الحال.

### ب- مواسير البلاستيك النيرموسيت المسلحة بالصوف الزجاجى :

#### Glass Fiber Rein Forced Thermoset pipe

مواد البلاستيك النيرموسيت هى ثابتة كيمائياً ولا يمكن تليينها أو إعادة تشكيلها بالحرارة. يوجد نوعين رئيسيين فى الاستخدامات العادية وهما :

- الأيبوكسى المسلح بالصوف الزجاجى.
- Fiber Glass Reinforced Epoxy (FRE).
- البولى إيستر المسلح بالصوف الزجاجى.

#### Fiber Glass Reinforced Polyester (FRP).

الماسورة المسلحة بالصوف الزجاجى تصنع أما بلف الشعيرات أو بالسبك عن طريق الطرد المركزى (Centrifuging Casting) . فى حالة لف الشعيرات تسقى وتشبع

الشعيرات الزجاجية بمادة البلاستيك ثم اللف على قالب التشكيل (Mandrell) عند زاوية مقدرة بدقة بالنسبة لمحور الماسورة. تستمر عملية اللف (Winding) حتى تمام لف الطبقات الكافية من الصوف الزجاجي لتوفير سمك الجدار المطلوب، في ماسورة السبك بالطرد المركزي يتم سبك (Cast) الشعيرات الزجاجية المشبعة بمادة الراتنج مقابل السطح الداخلي لقالب التشكيل الأسطواني الأجوف بواسطة الطرد المركزي.

### ج- ماسورة الأسبستوس الأسمنتى :

تصنع ماسورة الأسبستوس الأسمنتى من مادة متجانسة مكونة من الأسمنت البورتلاندى وشعيرات الأسبستوس والسيليكا. يمكن إنتاجها مع التبتطين بالأبيوكسى، ولكن معظم المواسير المستخدمة تكون غير مبطنة.

### طرق التوصيل : Joining Methods :

الطرق المستخدمة لتوصيل الأنواع المختلفة من المواسير الغير معدنية موضحة فى الجدول التالى رقم (7/1).

طريقة التوصيل			التيرمو بلاستيك
القلوطة	المذيب	الحرارة	
x	x		البى فى سى PVC
x	x		البى فى سى الكلور (CPVC)
x		x	البولى إيثيلين (PE)
x		x	البولى بروبيلين (PP)
x		x	البولى أسيتال
x	x	x	أكرىتونيتريل بيوتادا اين استيرين (ABS)
x	x	x	سيليلوز أسيتيت بيونيتريت (CAB)

### التيرمو سلايت

x	x		الإيبوكسى المسلح بالصوف الزجاجى (GRE)
x	x		البولى إستر المسلح بالصوف الزجاجى (GRP)
x	التوصيل بالحلقة المطاط		الأسبستوس الأسمنتى

يمكن استخدام اللحام بالحرارة لكل من (PA, ABS, CAB, PP, PE) تستخدم هذه الطريقة عنصر تسخين لتليين النهايات للوصلات والتي عندئذ يتم تناكبهما معا (Putted Together) والثبات في المكان حتى برودة الوصلة. تحدث كمية قليلة من الفلطة (Upsetting) ولكن هذه عادة ليست مرفوضة. حوالي 25% من وصلات المواسير الثيرموبلاستيك يتم بالصهر التناكبي (Puttfusion). يمكن استخدام لحام المذيب في حالة (GRE, ABC, CPVC, PVC) عادة تتكون هذه الطريقة من استخدام محلولين - يتم أولاً استخدام المذيب ثم الغراء (Glue) لكل من النهايات الرأس والجلبة ثم يتم دفع الوصلات بسرعة معاً، حيث تنصهر الطرف الرأس في الطرف الجلبة. حوالي 75% من وصلات المواسير البلاستيك تتم بنوع لحام المذيب.

بالنسبة للماسورة الثيرموبلاستيك تعتبر الجلبة هي أهم جزء في الوصلة . يوجد نوعين من الجلبة (Collars) وهما المشكلة في قالب تشكيل (Molded) ، والمستدقة بالتشكيل بالدفع خلال فتحة ضيقة (البثق) (Tapered Extruded) لا توجد فائدة من أن تكون الجلبة مستدقة على الأخرى شريطة أن يكون لها نفس الاستدقاق . تكون الوصلة رديئة إذا كانت الجلبة ليست مستدقة بالشكل السليم . القلوطة يمكن استخدامها في معظم المواسير الغير معدنية وهي تحقق وصلات جيدة في حالة سمك الجدار كبير بما فيه الكافية. عادة يوصف الجدول (80) (Schedule 80) بالنسبة لمواسير الثيرموبلاستيك المقلوطة. في حالة المواسير المقلوطة أو بالجلبة فإن ضغط التشغيل ينخفض إلى حوالي 50%. في حالة مواسير الأيوكسي المسلح بالصوف الزجاجي (GRE) ، فإن القلوطة أما أن تقطع في النهاية المقلطة (Upset End) أو أن تشكل بالإضافة على الماسورة القياسية (Molded) بحيث لا يحدث أي انتقاص في السمك.

#### الاستخدامات : Applications

عند استخدام المواسير الغير معدنية فإنه يجب مراعاة ثلاث عوامل أساسية وهي (1) المقاومة الكيماوية (2) والخواص الميكانيكية (3) الاعتبارات الاقتصادية.

## المقاومة الكيماوية :

فى عمليات حقول البترول تكون المقاومة الكيماوية لسوائل الزيوت أو الغازات والكيماويات المستخدمة فى المعالجة ذات أهمية بالغة هذه السوائل موجزة فى الجدولة (7/2).

## جدول (7/2) سوائل حقول البترول وكيماويات المعالجة

سوائل حقول الزيت أو الغاز	كيماويات المعالجة
الزيت الخام (يحتوى على كبريتيد الهيدروجين أو لا يحتوى عليه).	حامض هيدروكلوريك.
مياه عذبة	حامض ستريك مثبطات التآكل مبيدات الفطريات (Biocides)
المياه المالحة ومياه البحر	المذيبات الأروماتية
كبريتيد الهيدروجين (الرطبة)	التربنين Tarpentine
الغاز الطبيعى	Carbon disulfide Toluene Xylene Naphtha

كل مواسير البلاستيك التى تم مناقشتها لها مقاومة لعدوانية المياه المالحة، الخام، والغاز الطبيعى ذلك لأنها استخدمت بنجاح لسنين طويلة فى هذه البيئات. ولكن هذا لا يعنى أنها لا تتأثر كلية. بعض من هذه المواد يحدث له ضعف بتلك المنتجات وذلك بسبب الامتصاص لفترة طويلة. لذلك فإنه يجب أن يؤخذ فى الاعتبار عامل الخدمة أو البيئة فى حالة الإنشاءات لفترة طويلة.

## الخواص الميكانيكية :

الخواص الطبيعية ذات التأثير على اختبار مادة الصنع للماسورة لاستخدام معين هى درجات الضغط ودرجات الحرارة. لسوء الحظ فإن درجات الضغط تعتمد عادة على درجة حرارة التشغيل والفترة الزمنية التى تتعرض لها المادة فى ظروف التشغيل. طبيعى ، كلما زادت درجة الحرارة، كلما قل ضغط التشغيل المسموح باستخدامه.



اختبار ضغط الانفجار هو من أهم خواص المواسير البلاستيك، وبذا فإن عمر الماسورة يتأثر بدرجة الحرارة وضغط التشغيل ونوع السائل ، جميع اختبارات الضغط يجب أن تشمل الوصلة ، ذلك لأن الوصلة هي جزء مكمل لخط المواسير. كما يجب ملاحظة أن قيم الضغوط يجب خفضها وذلك عند حدوث اضطراب في الضغط (Pressure Surging) إنه عادة يتم التعامل مع الاضطراب في الضغط عند 10 إلى 15 ضعف ضغط التشغيل العادى في وقت طويل ، وخاصة عند استخدام محابس تحكم . بالإضافة إلى أنه يجب ضبط أقصى ضغط تشغيل بالنسبة لدرجة الحرارة.

### الاستخدامات التقليدية : Typical Applications :

بعض الاستخدامات التقليدية في صناعة البترول والغاز هي :

#### الثيرمو بلاستيك :

1. خطوط التدفق المستخدمة أساساً لحمل السائل المنتج من الزيت أو الزيت والماء من البئر إلى معدة الفصل وبطاريات التخزين.
2. خطوط التجميع - للزيت والماء أو غاز الضغط المنخفض.
3. خطوط المياه المالحة - أساساً نظام الصوف والتخلص.
4. التبطين لخطوط المواسير الصلب في عمليات الضغط العالى.
5. خطوط الوقود - لمحركات الغاز.

#### الأيوكسى المسلح بالزجاج :

1. يستخدم في جميع الاستعمالات السابقة.
2. مواسير آبار الحقن والصرف.

#### الأسبستوس الأسمنتى :

1. خطوط المياه المالحة - خطوط الصرف ونظم التجميع.
2. نظم حقن المياه.
3. الوصلات من جميع الأنواع.

## المميزات والعيوب :

من الواضح أن نظم المواسير الغير معدنية ستكون جذابة جداً عندما تكون قادرة على تحقيق المتطلبات الفنية بسعر يساوى أو يقل عن نظم الصلب. ولكن يجب على المستخدم أن يعي بجميع المميزات والعيوب لنظم المواسير الغير معدنية.

## المميزات :

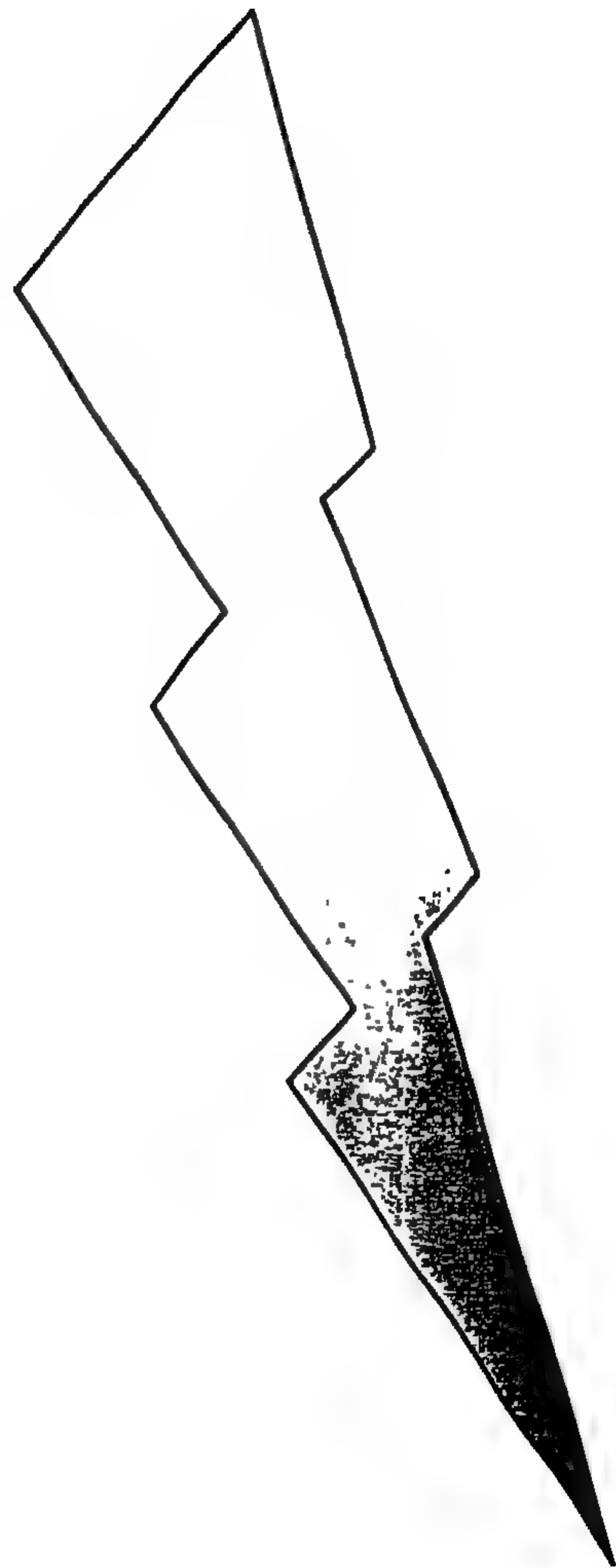
1. المواد الغير معدنية لها مناعة بالنسبة للتآكل فى الماء.
2. خفة الوزن وقلة تكلفة النقل وسهولة التداول.
3. سهولة وسرعة التوصيل والإنشاء.
4. لا تحتاج إلى حماية خارجية من التآكل مثل التغطية والتغليف والحماية الكاثودية.
5. نعومة السطح الداخلى ينتج عنه انخفاض فى الفقد بالاحتكاك.

## العيوب :

1. المواسير الغير معدنية لها حدود للعمل بالنسبة للضغط ودرجات الحرارة.
2. هذه الحدود يصعب استنتاجها بالتأكد.
3. حدود الضغط ودرجة الحرارة عادة مرتبطة ببعضها (أى زيادة الحرارة ، يعنى انخفاض ضغط التشغيل المسموح به) زيادة على ذلك ، فإن الخواص الطبيعية تتغير مع الوقت فى الظروف العادية.
1. يلزم التداول الحذر فى التحميل والتنزيل والإنشاء.
2. مواسير البلاستيك يلزم دفنها لحمايتها من أشعة الشمس (التي تسبب التلف مع الوقت) ، التلف الميكانيكى ، والحرائق.
3. يمكن أن يحدث الارتشاح (إطلاق عصارة) فى مواسير الأيبوكسى المسلح.
4. المواسير الغير معدنية مقاومتها للاهتزازات واضطراب الضغط (Surging) منخفضة جداً. كلا من مواسير الأيبوكسى المسلح ومواسير البى فى سى يتم استخدامها عند 30-50% من أقصى ضغط التشغيل الموصى به وذلك لمواجهة اضطراب الضغط.

# **الفصل الثامن**

## **الحماية الكاثودية**







## مقدمة :

الحماية الكاثودية يمكن تعريفها بأنها التقنية لخفض تآكل سطح المعدن وذلك بتمرير تيار كاثودى كافى نحوه ليسبب انخفاض معدل تآكله الأنودى إلى حد الغير مقدر. بمعنى أبسط، فإنه استخدام التيار الكهربى المستمر من مصدر خارجى ليعارض صرف تيار التآكل من المناطق الأنودية للمنشأ المعدنى المغمور فى مجال موصل ، أو إليكتروليت مثل التربة والماء. عند الإنشاء الجيد لنظام الحماية الكاثودية ، فإن جميع أجزاء المنشأ المحمى تجمع التيار من الإليكتروليت المجاور، حيث يصبح إجمالى السطح المعرض منطقة -كاثودية واحدة- ولهذا كانت التسمية.

من الواضح، فإن الحماية الكاثودية تكون قابلة للتطبيق فقط لمقاومة التآكل الناتج من تدفق تيارات مستمرة مقاسة من أحد أجزاء المنشأ (المنطقة الأنودية) خلال الإليكتروليت إلى جزء آخر من المنشأ (المنطقة الكاثودية) هذا التآكل هو كهروكيميائى بطبيعته والمنطقة الأنودية حيث يتم صرف التيار الإليكتروليت تتآكل على العكس المنطقة الكاثودية تجمع التيار ولا تتآكل أى أنها محمية كاثودياً.

لتفهم الحماية الكاثودية واستخداماتها إلى أى درجة مفيدة فإنه يكون من الضرورى أولاً تفهم أساسيات وطبيعة وأسباب التآكل الكهروكيميائى.

## التآكل الكهروكيميائى :

يحدث نوعين أساسيين من التآكل الكهروكيميائى على المعادن المغمورة فى الإليكتروليت. وهما ذلك الذى يحدث طبيعياً وذلك الذى يحدث بفعل الإنسان. الأخير عادة يعرف بالتحلل الكهربى (Electrolysis) ، ذلك رغم أن هذه التسمية تستخدم بطريقة خاطئة لتغطية كلا النوعين. التحليل الكهربى (Electrolysis) يسمى كذلك تآكل التيار الشارد (Stray Current Corrosion) ، الناتج عن صرف التيار المستمر نحو

التربة أو الماء (الإليكتروليت) من خلال إنشاءات الحماية الكاثودية أو عربات الترولى التى تعمل بالتيار الثابت أو من خلال معدات اللحام. عند النقاط هذه التيارات من الإليكتروليت على أحد المساحات للمنشأ المعدنى (بخلاف قضبان عربات الترولى أو نظم الحماية الكاثودية) وتصرف فى منطقة أو مساحة أخرى لذلك المنشأ المعدنى، فإنه يحدث

تآكل كهروكيميائي في منطقة صرف التيار (الأنودية) ، وينتج عن ذلك درجة من الحماية الكاثودية في منطقة التجميع (الكاثودية) للمنشأ.

إن حدوث التآكل الكهروكيميائي للمعدن في التربة أو في المعدن هو من الحالات الطبيعية ذات العلاقة اليومية في عمليات إنتاج البترول والتي تستخدم لمقاومتها الحماية الكاثودية.

### مبادئ الحماية الكاثودية :

تيارات التآكل الكهروكيميائي يمكن انعكاسها بالاستخدام المناسب للحماية الكاثودية، والتي تجعل كل المنشأ كاثودي حيث يلغى أو يبطل المناطق الأنودية التي تحدث طبيعياً بفعل التيار المستمر الذي يغذي المنشأ من الخارج ، من أنود أكثر قوة. المصدر الحقيقي لهذا التيار الخارجى غير هام.

الشكل (8/1) يوضح في مخطط مبسط الدائرة الأساسية للحماية الكاثودية لاحظ أن تيار التآكل الكهروكيميائي من الأنود إلى الكاثود (غير موضح) تم استبداله بالتيار من أنود إضافي.

الحماية الكاثودية ليست بالضرورة تبعد التآكل ولكنها تنقل التآكل من المنشأ تحت الحماية وتركزه عند موقع آخر معلوم حيث أنود صرف التيار أو الأنودات يمكن أن تصمم لمدة زمنية طويلة مع سهولة استبدالها.

الحماية الكاثودية ذات قيمة فقط لسطح المعدن المعرض لنفس الإليكتروليت مثل الأنود فمثلاً، الحماية الكاثودية المستخدمة للقاع الخارجى لخزان المياه المالحة ليس لها تأثير على التآكل الداخلى والعكس صحيح.

### معيار (أو قواعد) الحماية الكاثودية Criteria for Cathodic Protection :

خلال السنين تم عمل مختلف المعايير لتعيين تأثير إستخدامها على مختلف المنشآت. تلك الأكثر استخداماً هي قياسات الفولت (فرق الجهد) بين المنشأ المحمي والإليكتروليت.

من المحتمل أن يكون أكبر معيار مستخدم يشمل استخدام قطب النحاس/ كبريت النحاس كنصف بطارية قياسية للمعايرة. يتوقف القطب ببساطة من قضيب من النحاس

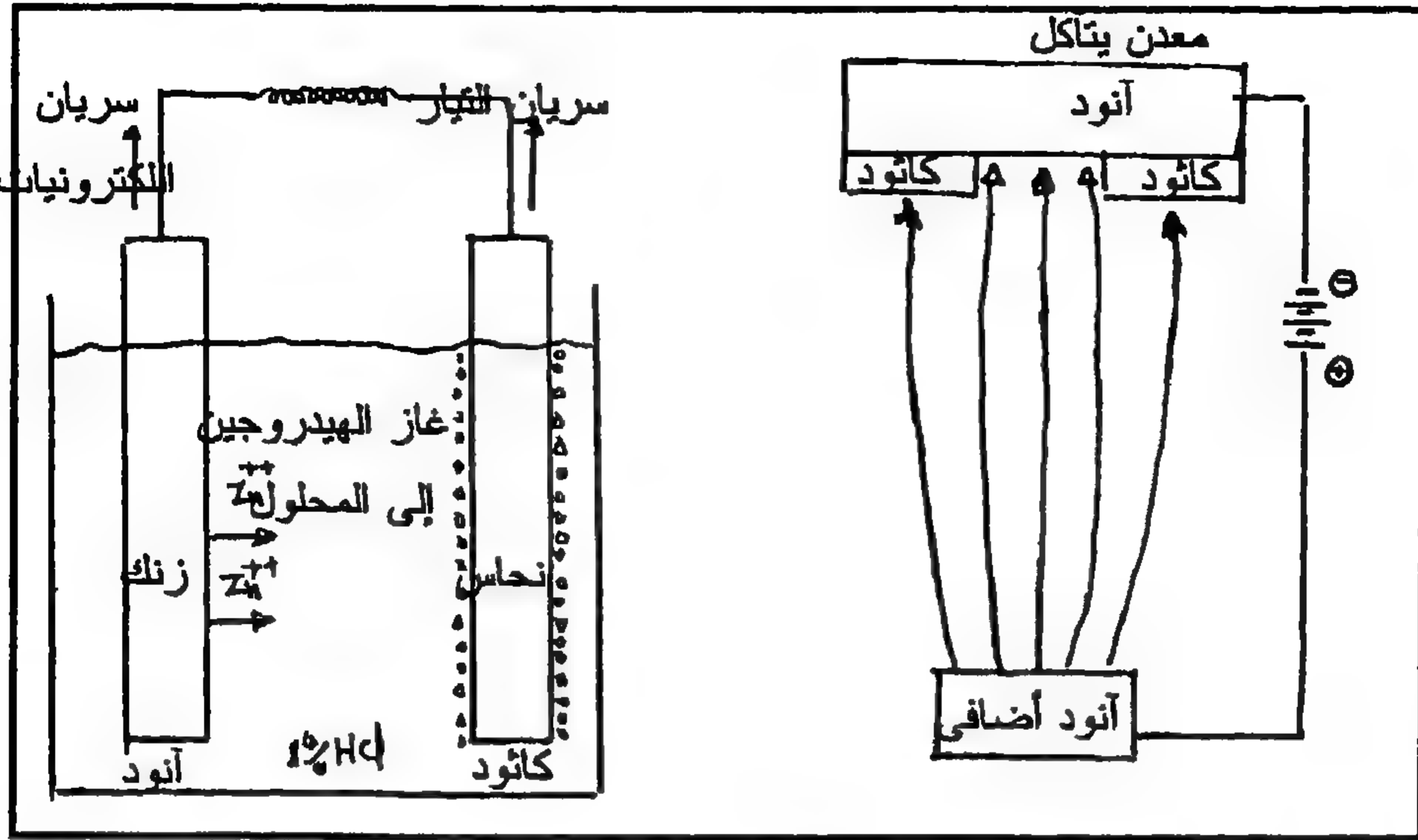
مغمور في محلول مشبع من كبريتات النحاس، وكلاهما تحتويه أسطوانة من البلاستيك ولها سداة مثقبة عند نهاية القاع (للاتصاق مع الإليكتروليت) وقضيب النحاس ممتد إلى خارج القمة (للاتصال بالمقياس على المقاومة الفولتميتر أو البوتنشيوميتر).

لقد أظهرت الخبرة أنه عندما تكون قراءة الفولت ما بين المنشأ والإليكتروليت = - 0.85 فولت، أو أكثر سلباً بالنسبة لقطب النحاس كبريتات النحاس، فإن التآكل يتوقف أساساً على المنشآت من الصلب، في التربة الطبيعية والماء. الحماية الزائدة للصلب، الوصول إلى جهود سالبة كثيراً إلى -0.85 فولت ليست ضار عادة، ولكنه مضيع للجهد وقد يسبب التلف لطبقات تغطية معينة على المنشأ وخاصة في حالة صغر سمك طبقات التغطية. المعيار المتعلق بالصلب هو بتغيير الجهد 300 مليفولت (0.3 فولت) في الاتجاه السالب، أو الاتجاه الكاثودي من قيمته الأولية.

من الطبيعي، أن الملاحظة البصرية المباشرة نحو تأثير الحماية الكاثودية قد تكون ممكنة في كثر من الحالات، أو قد تجهز عينة اختبار من نفس المعدن على المنشأ المحمي لإمكان المراجعة من أن إلى آخر. لدرجة التأثير لتيار الحماية المستخدم.

أخيراً، حيث أظهرت الخبرة أن كثافة تيار معينة كانت مؤثرة في حماية الصلب في بيئة متجانسة نسبياً، عندئذ فإن كثافة التيار هذه المستخدمة بتجانس وانتظام يمكن اعتبارها كمعيار غير مباشر للحماية.

كثافات التيار بقيمة واحد مليأمبير على القدم المربع على سطح ماسورة صلب عارى (غير مغطى) سوف يوفر الجهد المطلوب.



شكل (8/1) مخطط لدائرة بوضع طريقة تحريك التيار من الأنود إلى سطح قطعة معدن يتآكل في نظام لحماية الكاثودية

كل (٢/٨) عند الاتصال الكهربائي للزنك والنحاس ووضعهم في محلول حامض الهيدروكلوريك ، فإن الزنك يذوب في الحامض ويتولد غاز الهيدروجين على سطح النحاس

جدول (8/1) التسلسل الجلفني لمختلف المعادن في مياه البحر

المغنيسيوم / سبائك المغنيسيوم	أكثر نشاطاً
الزنك	أكثر ندرة
الصلب المخلوق	
الألمنيوم وسبائك الألمنيوم	
الصلب المطاوع	
الحديد الزهر	
الصلب المقاوم	
الرصاص	
القصدير	
سبائك النيكل	
سبائك النحاس الأصفر	
النحاس	
الفضة	
الجرافيت	
الذهب	أكثر نشاطاً
البلاتين	أكثر ندرة



للتجاوب في معظم أنواع التربة في مياه البحر، يكون المطلوب عادة كثافة تيار بين 7-8 مللي أمبير ، القدم المربع للحماية الأولية لمناطق التآكل على المنشآت الصلب. في البيئات القاسية (حيث درجة الحرارة المنخفضة و/أو معدلات التدفق العالية فإن المتطلبات يمكن أن تكون أفضل كثيراً. الاستقطاب وتأثيرات الأمبير/ساعة تعمل على خفض متطلبات كثافة التيار لاستمرار جهد الحماية إلى حوالى نصف القيمة الأولية.

### مصادر التيار الثابت للحماية الكاثودية :

توجد طريقتين لتوفير تيار الحماية الكاثودية الضرورى وهما مختلفتين بما يتطلب مناقشتهم وهم (1) الأنودات الجلفنية، المرتبطة مباشرة بالمنشأ المطلوب حمايته (2) أنودات التيار المسلط (Impressed) والتي تكون خاملة نسبياً وتتطلب مصدر طاقة خارجى للتيار المستمر لدفع التيار لى يسرى.

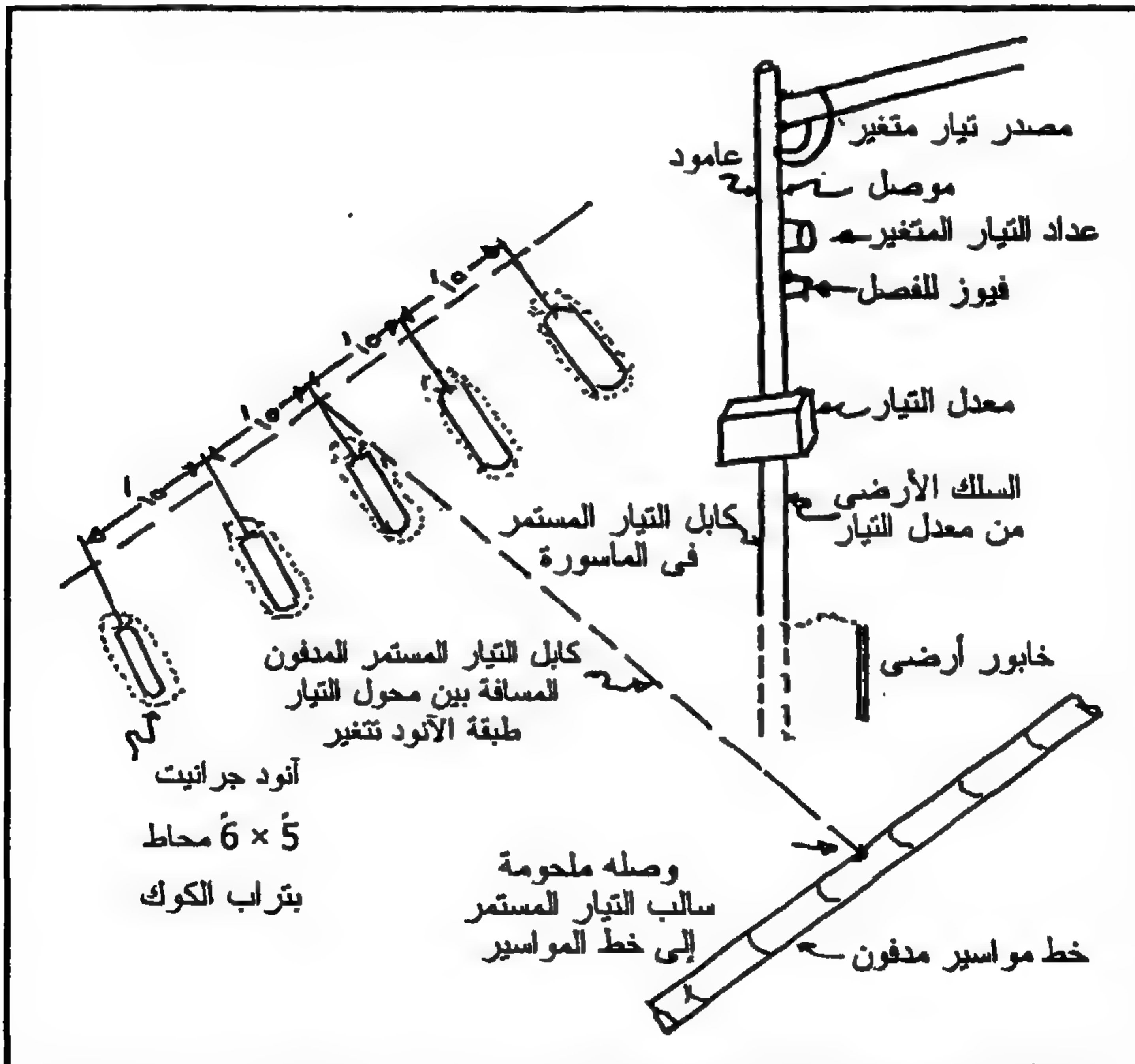
### الأنودات الجلفنية : Galvanic Anodes :

الأنودات الجلفنية هي عبارة عن سبائك خاصة عالية النقاء من المغنسيوم، الزنك، الألومنيوم، والتي تعطى الجهد الكافى العالى الذى يوفر السريان الكافى للتيار خلال الإليكتروليت إلى المنشأ المطلوب حمايته. المبدأ هو ذلك لخلية التآكل بالمعدنين الغير متماثلين الموضحة فى الشكل (8/2) ، والسبب فى أن كلا من المغنسيوم والزنك يعملوا بهذا الشكل فهو موضح طبقاً لمكانهم بالنسبة للصلب فى التسلسل الجلفنى العملى الموضح فى الجدول (8/1) . استخدام الأنودات الجلفنية من سبيكة الألومنيوم محدود فقط فى مياه البحر أو المياه عالية الملوحة حيث يكون أداؤها جيد. أنودات الألومنيوم تم اختبارها فى استخدامات التربة ولكن لم تثبت الصلاحية. أنودات المغنسيوم كثيرة الاستخدام فى تطبيقات التربة بسبب جهدها النشط تستخدم أنودات الزنك على نطاق واسع فى التربة ذات المقاومة المنخفضة وفى المياه. الألومنيوم كما تم ذكره فهو ممتاز فى المياه المالحة، وله الميزة الإضافية وهى الطاقة العالية لكل رطل من الأنود .

عند المقارنة فى ظروف الاستخدام العادية، فإن المغنسيوم يستهلك بمعدل 17 رطل/ الأمبير فى العام تقريباً ، والزنك عند معدل 26 رطل ، كما يوجد سبيكة الألومنيوم التجارى الممتاز حيث معدل استهلاكها 6.8 رطل.

## نظام التيار المسلط (Impressed current) :

كميات كبيرة من تيار الحماية يتطلب عادة نوع نظام التيار المسلط الشكل (8/3) يوضح نموذج لنظام معدل التيار (Rectifier) على خط مواسير مدفون حيث يتحول التيار المتغير إلى التيار المستمر والذي يتم بعد ذلك تسليطه على طبقة أرضية من أنودات الجرافيت. طبقة الأنود متصلة بالجانب الموجب (+) لمحور التيار، بينما خط المواسير يكون متصلاً بالجانب السالب (-) لإكمال الدائرة . مثل هذه التجهيزات عادة تولد من 10 إلى 100 أمبير أو أكثر، من تيار الحماية في مكان واحد.



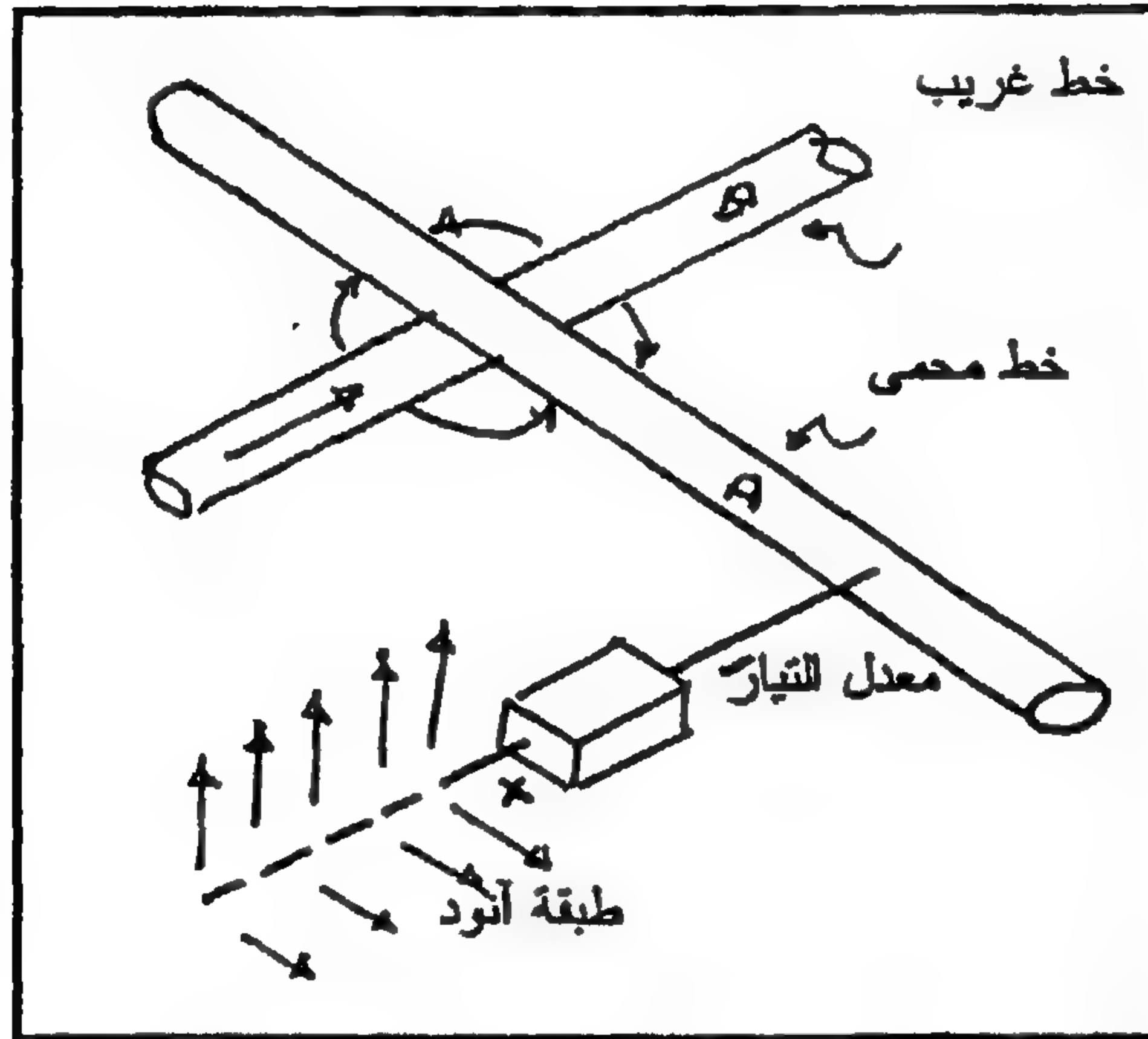
شكل (8/3) مخطط لنظام التيار المسلط على جزء من ماسورة مدفونة يلاحظ أن المسافة بين مصفوفة الأنود وخط المواسير أكبر مما هو موضح في الرسم.

الأنودات الأخرى المستخدمة في مثل هذه الحالة (والتي تسمى أنودات التيار المسلط) هي سبائك السيليكون - الحديد حتى خردة الحديد مثل المواسير أو القضبان. يستهلك الصلب بمعدل عالي (حوالي 20 رطل لكل أمبير يتم صرفه في العام)، والأنودات الشبه خاملة من الجرافيت أو السيليكون - الحديد تستخدم عادة في التربة بصفة خاصة ، في المياه المالحة أنود سبيكة الرصاص (6% أنثيمون، 1% فضة) زاد استخدامه بسبب انخفاض معدل استهلاكه ، والذي يكون 0.1 رطل لكل أمبير في العام. أقطاب المعادن الثمينة مثل التيتانيوم المعالج بالبلاتين تستخدم كذلك (Platinized Tatanium) عند عدم توفر مصدر طاقة كهربائية متغيرة (AC)، فإنه يمكن استخدام مولد التيار المستمر (DC) للأحمال الثقيلة، أو المعدات الكهروحرارية حيث المطلوب تيار أقل (Thermoelectric Generators).

عموماً يتم استخدام الأنودات الجلفنية حيث كمية تيار الحماية المطلوب تكون صغيرة أو يجب أن تكون موزعة بطريقة جيدة مثل خط المواسير العاري (الغير مغطى) الطويل لذلك فإن استخدامها محدود في التربة والمياه ذات المقاومة المنخفضة بما فيه الكفاية بحيث أن كمية التيار المنتج لكل أنود تكون ذات استخدام عملي على الجانب الآخر فإن نظم التيار المسلط قادرة على إنتاج مثل هذه الكمية الكبيرة من التيار في مجال بيئي معين ولكن تحتاج إلى مصدر طاقة خارجي.

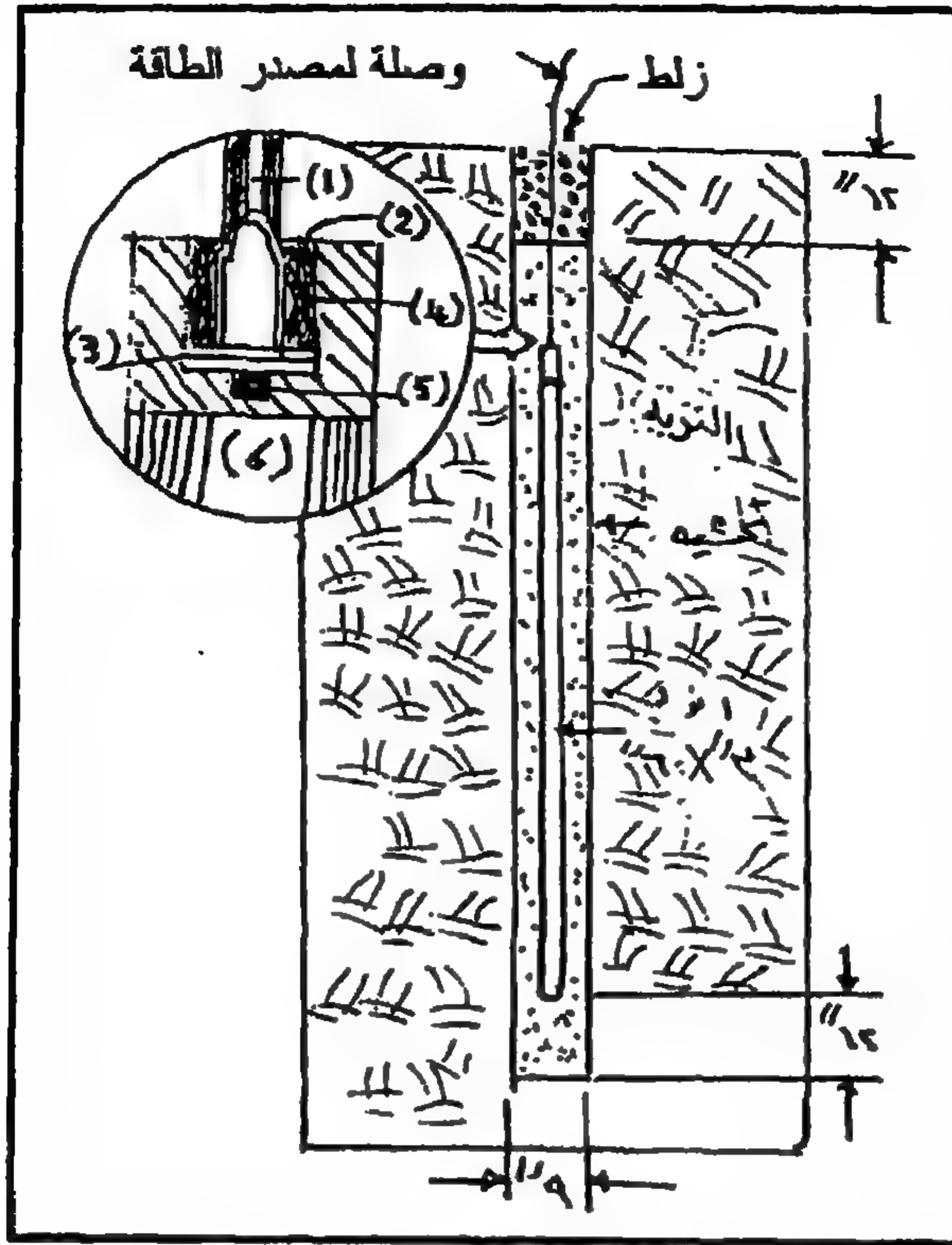
المشكلة الرئيسية عند استخدام معدلات التيار (Rectifiers) كمصدر للطاقة هي تلك بالنسبة للتداخل بسبب الخطوط الغير محمية الشكل (8/4) يمكن ملاحظة أن الخط الغريب يستقبل حماية حيث يدخل التيار الماسورة، ولكن التآكل المعجل يحدث حيث يترك التيار الخط الغريب. في حالة وضع توصيل معدني مناسب بين الخطوط المحمية والغير محمية، فإن هذه المشكلة لا تحدث. طبقاً ، فإن ذلك يعني أن كلا المنشأتين يستقبل تيارات كاثودية، وأن التيار المطلوب لتوفير الحماية المناسبة بالتالي سيزداد.

فى جميع إنشاءات الحماية الكاثودية ، يكون من المهم أن يتم الإنشاء الجيد للأنودات بحيث يكون هناك أدنى مقاومة كهربية ، بين الأنود والتربة المحيطة. حيثما أمكن ، يتم وضع الأنودات ، فى الأماكن حيث مقاومة التربة منخفضة كما فى حالة حفر الطفلة القديمة. عادة يتم التخشين بمادة ذات مقاومة منخفضة حول الأنود للعمل كتخشينة ملئ . نموذج لأنود الجرافيت (أو أنود السيليكون المنشأ مع تراب الكوك للملئ والتخشينة موضح فى الشكل (8/5).



شكل (8/4) مخطط يوضح استخدام التيار لحماية خط المواسير قد تتحرك من طبقة الأنود إلى خط غريب قريب وعندئذ يترك خط المواسير حيث تقاطع مع ليعود إلى معدل التيار. حيث يترك التيار خط المواسير يحدث التآكل.





شكل (8/5) مخطط لمقطع لأنود مدفون من الجرافيت أو الزهر السيليكوني يوضح إنشاء الأنود.

الأنود عادة يكون محاط بطبقة من تراب الكوك كما في الشكل.

الشكل يوضح تفاصيل اتصال الكابل بالجرافيت (1) كابل معزول مقاوم للماء (2)

عازل مطاط (3) حلقة عزل من النحاس (4) عزل مانع للماء (5)

حلقة نحاسية ملحومة مع الكابل (6) قضيب معالج ضد الرطوبة.

### دور طبقات التغطية : Role of Coatings

لقد استخدمت التغطية للحد من التآكل الكهروكيميائي بدرجات مختلفة من النجاح. في حالة توفر طبقة التغطية بتكلفة مناسبة والتي تحقق العزل الكهربائي الجيد ما بين المنشأ والإليكتروليت ، وأن يتم استخدام طبقة التغطية هذه واستمرارها في حالة جيدة بدون أي تقويات دهان أو شروخ أو ثقوب عندئذ لا تكون هناك حاجة لأي شكل آخر من أشكال الحماية من التآكل. سيكون واقع خلايا التآكل غير متصل. عملياً ، كل طبقات التغطية بها عيوب ، حيث يحدث التآكل عند مناطق تغطيات طبقات الطلاء هذه عادة بمعدل عالي

ذلك بسبب صغر مساحة المعدن المعرض ولكن طبقات الحماية هي سلاح مؤثر جداً في الحماية من التآكل ، وعند استخدامها مع استخدام الحماية الكاثودية فإنها تحقق الحماية الكاملة مع أدنى استخدام للتيار الكهربائي المطلوب.

في كثير من الحالات فإن التغطية لا يمكن إقرارها اقتصادياً كوسيلة لخفض تكاليف الحماية من التآكل بطريقة الحماية الكاثودية. كمثال ، كما في حالة المساحة المغمورة للأرصعة الصلب البحرية. ولكن في كثير من الحالات الأخرى تكون التغطية لا مفر منها كما في حالة خطوط المواسير المدفونة ذات الضغط العالي. من الطبيعي فإن الخطوط العارية الموجودة يجب قبولها كما هي ويتم عادة استطلاعها وحمايتها عند النقاط الساخنة فقط لأسباب اقتصادية.

طبقات التغطية العادية لخطوط المواسير تكون سميكة ، وتكون مبنية من البيتومين المستخدم على الساخن مع مختلف التقويات ومواد التغليف. مواد مشابهة قد تستخدم للخزانات المدفونة أو لقيعان الخزانات. فإنها يمكن أن تكون مؤثرة بنسبة 99% أو أكثر بالنسبة لعزل المعدن وعدم التصاقه مع التربة أو الماء وكذلك في خفض كمية تيار الحماية الكاثودية المطلوبة.

تستخدم كذلك كثيراً طبقات تغطية ذات سمك رقيق وصغير. حدث تطور كبير نحو تغطية خطوط المواسير بالشرائط (Tape) ، وهي تستخدم حالياً على نطاق واسع، بينما طبقة التغطية الرقيقة التقليدية من الإيبوكسات والفينيلات (Vinyls and Epoxies) استخدمت للتبطين الداخلي لخطوط المواسير والخزانات وأواني ومستودعات حقول البترول . رغم أن الشرائط تعطى نتائج تشبه لطبقة البيتومين المستخدم على الساخن على خطوط المواسير، الفينيل والأيبوكسي يجب التعامل معهم بحرص عند استخدام الحماية الكاثودية . فهذه عموماً ليست مؤثرة في خفض متطلبات التيار للحماية الكاثودية مثل التغطية بالبيتومين وبالشرائط، بالإضافة إلى أنها أكثر عرضة للتلف من زيادة الحماية (Dver Protection) ، أي من زيادة فرق الجهد الناتج خلالها ما بين الكاثود والإليكتروليت . تستخدم أحياناً للتغطية أو التبطين بالمونة الأسمنتية حول قيسونات البئر وداخل خطوط المواسير التي تتداول المياه العدوانية. تأثيرها بالنسبة لمقاومة التآكل يرجع

إلى سمكها وكذلك للتغطية المستمرة . مثل هذه التغطيات تكون موصلة نسبياً ولا تعمل على خفض متطلبات التيار للحماية الكاثودية كما تفعل زيادة التغطية التقليدية.

تتكون الترسيبات والتغطية بالمواد الحجرية الركامية (Calcerous) ببطئ على المنشآت المحمية كاثودياً مع مرور الوقت. ولكن هذه تغطية شديدة الضعف في التقدير العام ، فهي يمكن أن تخفض متطلبات التيار بنسبة 50% أو أكثر، كما أنها تساعد جداً في إطالة انتشار التيار على طول خط المواسير الغير مغطى أو قيسون البئر المحمي كاثودياً.

### طرق الساحة الأرضية في عمل الحماية الكاثودية :

لتعيين الحاجة إلى ملائمة استخدام الحماية الكاثودية فإن ذلك يتطلب أجهزة خاصة وتقديرات. لأن كلا من التآكل والحماية الكاثودية ذات طبيعة كهروكيميائية، فإن أعمال المساحة الأرضية للحماية الكاثودية تتكون أساساً من قياساً كهربية منظمة ومرتبطة ببعضها جيداً. أهم هذه هي :

- قياسات الجهد المنشأ إلى التربة.
- قياسات تدفق التيار (IR Drop) ، أما في المنشأ نفسه أو في الإليكتروليت المحيط بالمنشأ.
- قياسات مقاومة الإليكتروليت.
- اختباراً متطلبات التيار.

### قياسات الجهد (Potential Measurements) :

عادة تعطى قراءة الجهد بالمليفولت أو الفولت. نظراً لأن الفولت هو حقيقة الفرق بين جهدين، فإن الجهد كما يقرأ هو قراءة الفولت ما بين المنشأ الجارى بحثه وقطب قياسى مناسب (Reference Electrode) [عادة نصف بطارية من النحاس/ كبريتات النحاس] موضوع فى الإليكتروليت قريباً من المنشأ القيم النموذجية لجهود مختلف المعادن فى التربة المتعادلة أو الماء، مقاسة بالنسبة لقطب النحاس / كبريتات النحاس موضحة فى الجدول (8/2) :

جدول (8/2) التسلسل الجلفنى العملى

المعدن	الفولت (Volts)
* مغنسيوم نقى تجارى	1.75-
* سبيكة مغنسيوم (6% ألومنيوم، 3% زنك، 0.15% منجنيز)	1.6-
* زنك	1.1-
* سبيكة ألومنيوم (5% زنك)	1.05-
* ألومنيوم تجارى نقى.	0.8-
* صلب مطاوع (نظيف ولامع)	0.8- إلى 0.5-
* حديد زهر	0.5-
* رصاص	0.5-
* صلب مطاوع فى الخرسانة	0.2-
* نحاس، نحاس أصفر، برونز	0.2-
* حديد زهر على السيليكون	0.2-
* ترسيبات الصدأ على الصلب	0.2+
* الفحم، الكربون، الكوك	0.3+
هذه الجهود فى التربة المتعادلة والماء، مقاسة بالنسبة لقطر النحاس/ كبريتات النحاس القياسى.	

المنشآت المعدنية يمكن أن تكون تلك المغمورة فى أو ملتصقة بالتربة أو الماء، أو محتوية على الماء وسيتم مناقشة نوع واحد من الإنشاءات وهو خط المواسير المدفون. مع معرفة أن هذا مطبق على أى منشأ فى بيئة معينة.

الجهود التى نقابلها عادة تتراوح ما بين مليفولتات قليلة إلى عدة فولتات، وللحصول على قياسات جهد دقيقة مقابل قطب النحاس/ كبريتات النحاس أو أى قطب قياسى آخر فإنه يلزم استخدام جهاز قياس ذو حساسية عالية جداً فى حالة استخدام مقياس المليفولت أو الفولت ذو المقاومة العالية، فإن مقاومته يجب أن تكون لا تقل عن 50.000 أوم/ الفولت. المقاييس العادية متعددة الاختبار (Multi- test) لا يمكن استخدامها بما يكفى فى الأعمال المساحية للحماية الكاثودية. القراءات الأكثر دقة تتطلب أى من (Potentiometer – voltmeter Or Straight



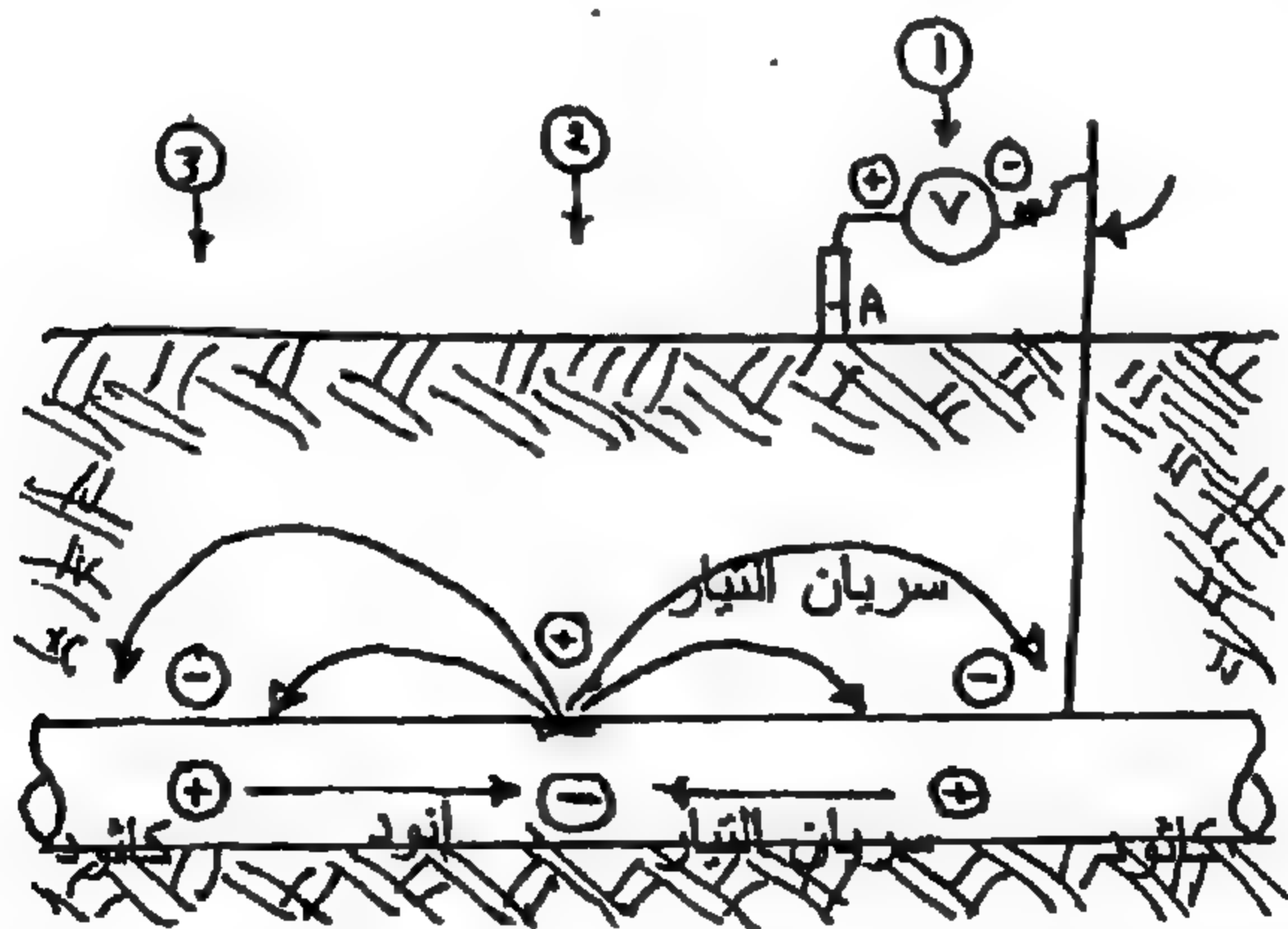
Potentiometer فكلهما هما أجهزة من نوع الإتران (Balancing Type). يمكن كذلك استخدام الفولتميترات من النوع الأليكترونى للقراءة المباشرة.

ذلك المقياس الحساس ، بالإضافة إلى قطبين القياسيين (عادة النحاس / كبريتات النحاس) ، وخوابير الاختبار الضرورية (Test / eads) وتجهيزات الالتصاق كل هذه هي أدنى معدات لازمة للأعمال المساحية للجهد.

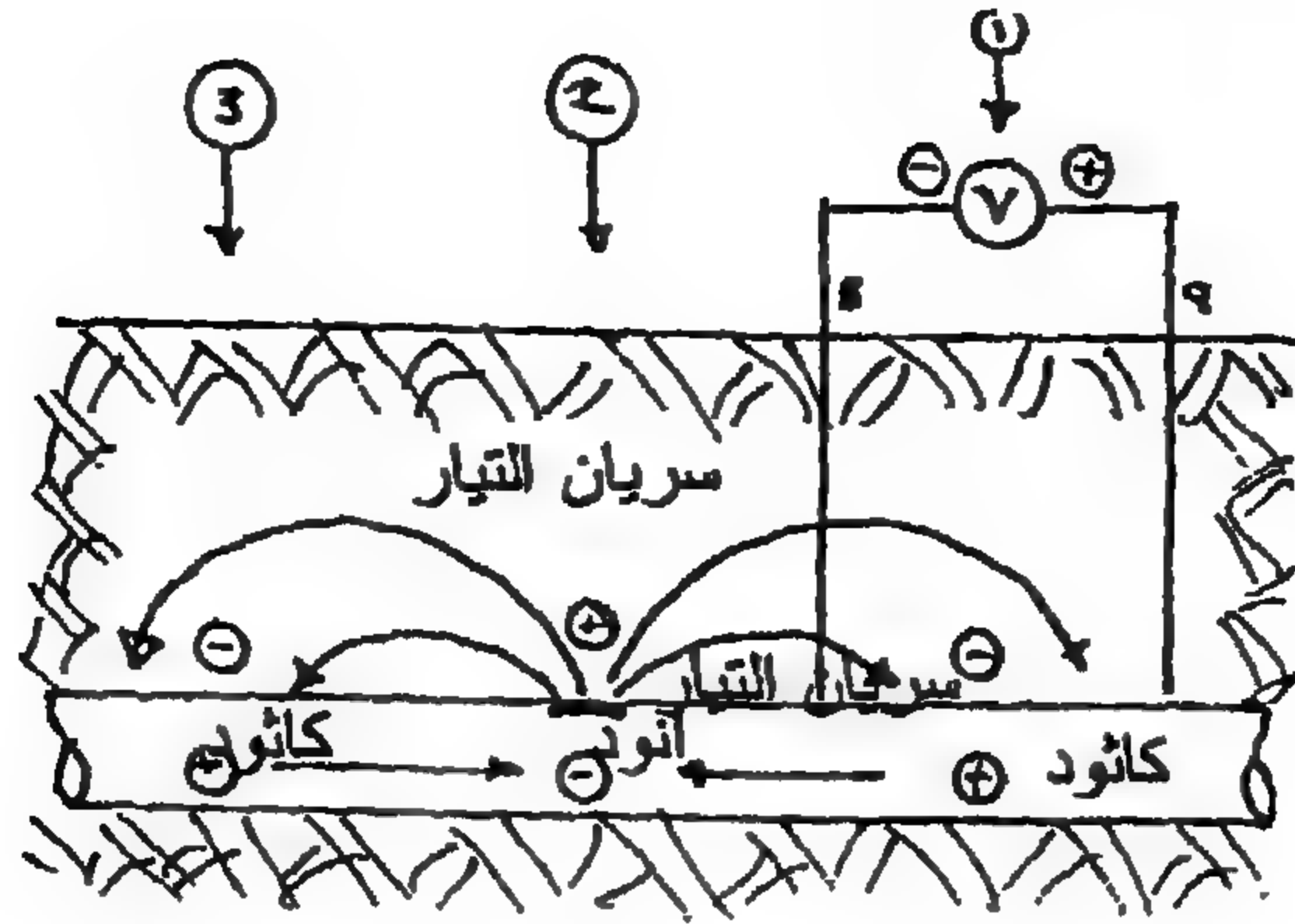
عند تنفيذ الأعمال المساحية، فإن المنشأ يتم التوصيل عند الجزء المرتفع (Risers)، خلال صناديق المحبس، أو باستخدام تجهيزة توصيل مثل خابور التوصيل. من المهم جداً تنفيذ توصيل منخفض المقاومة مع المنشأ المدفون . الطرف السالب للفولتميتر يتم توصيله خلال أسلاك توصيل مناسبة ملتصقة بخط المواسير ، الطرق الموجب يتم توصيله بقطب المعايرة . فى حالة استخدام قطب المعايرة من النحاس/ كبريتات النحاس فإن الماسورة سوف يظهر استقطاب سالب (Negative polarity) - وهذا موضح تخطيطياً فى الشكل (8/6). جهد المنشأ يتم أخذه مع الدفن الجيد للقطب فى التربة مباشرة فوق المنشأ، يتم تسجيل الجهد ما بين الماسورة - التربة (P/S) . يتم تكرار هذه الطريقة على فترات مناسبة خلال كل النظام الجارى دراسة - المناطق ذات الجهد الأكثر سلباً تبين المناطق الأنودية أو التى تتآكل.

### تدفق التيار أو فرق الجهد: IR Drop ( Current flow

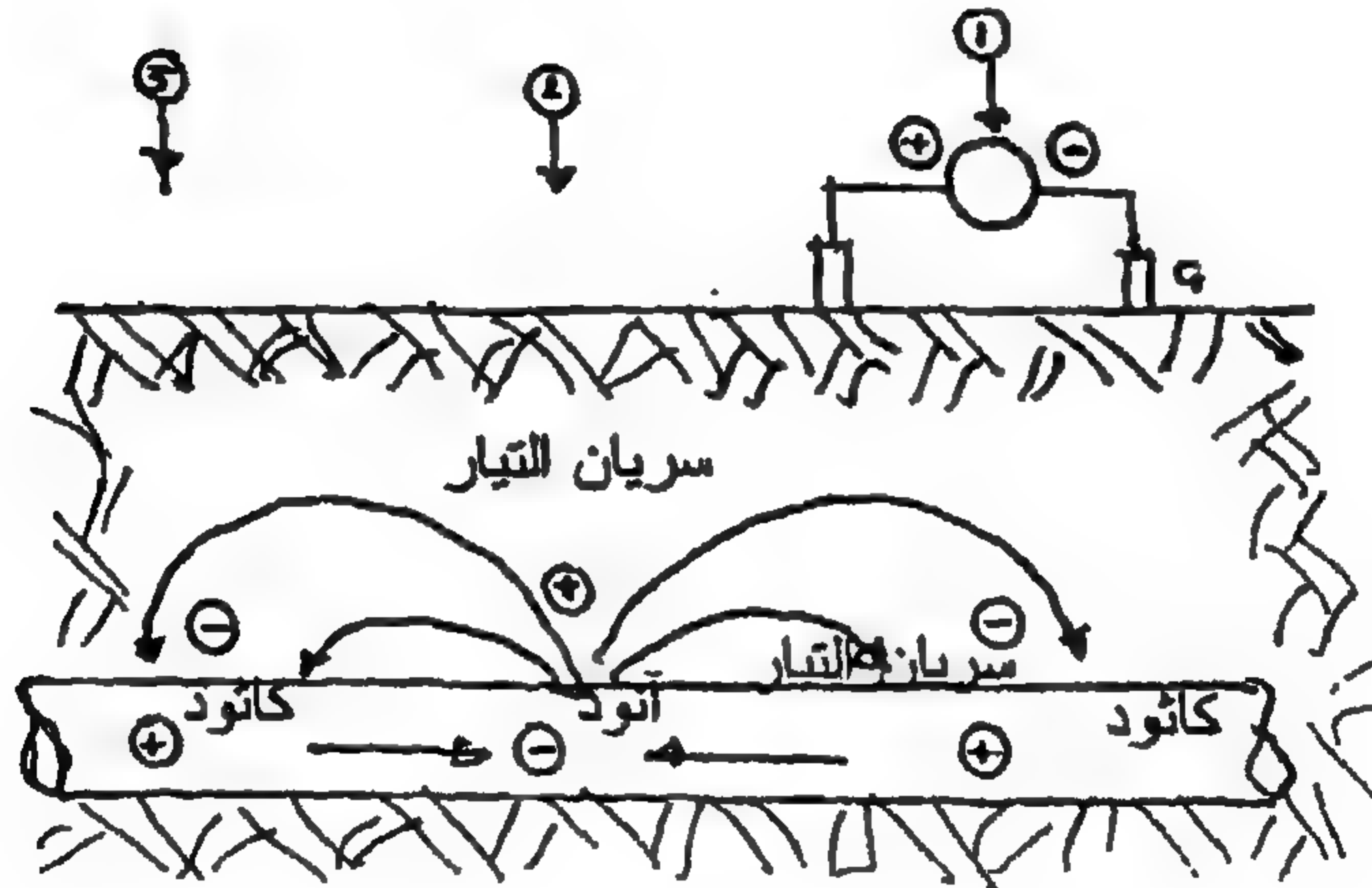
1- اتجاه سريان التيار المستمر فى المنشأ (خط الأنابيب) يمكن تعيينه باستخدام القراءات المباشرة للفولتميتر أو البوتنشيوميتر.



شكل (8/6) مخطط قياس الجهد الماسورة التربة باستخدام محبس التصاق لاحظ الاستقطاب فى التربة والماسورة . جهد الماسورة إلى التربة عند (1) ، (3) ستكون أكثر كاثودية (أقل سلبية) عن تلك عند الأنود (المتآكل) المنطقة (2).



شكل (8/7) مخطط يوضح طريقة سريان التيار لقياس  
 لكمية سريان التيار. الجهد  $\Delta$  يقاس بين مجسى الالتصاق بواسطة فولتمتر  
 لتحديد اتجاه  
 منخفض المقاومة . سريان التيار في الماسورة هو من + إلى - لذلك  
 الأنود سيكون عند أقصى نقطة سالبة من الماسورة.



شكل (8/8) طريقة تعيين التآكل بالجهد السطحي حيث القطبين  
 متصلين بواسطة فولتمتر . يقاس الجهد بين القطبين.  
 عند تحريك القطبين إلى الوضع . ستكون القراءة أكثر موجبة،  
 مبينا منطقة أنودية أو تتآكل. عند تحريك الأقطاب إلى الوضع  
 ستكون القراءة أكثر سلباً. وبذا تساعد في تعيين مكان المنطقة الأنودية.

المساحة أو المكان حيث يسرى التيار من المنشأ إلى التربة يكون حيث يحدث التآكل.. يمكن التعرف والكشف على ذلك بملاحظة اتجاه وقمة سريان التيار في الماسورة. النقطة التي تصل عندها إلى أقصى قيمة وتعكس اتجاهها للسريان هي النقطة التي يحدث عندها التآكل. قيمة سريان التيار التي يمكن حسابها أو تقديرها من قراءات المليفولت ومقاومة الماسورة بين نقط الاتصال، توفر تقريب لما يحدث من فقد للمعدن في العام.

يمكن أن يستمر حدوث التآكل في عدم وجود سريان تيار مقاس في المنشأ بسبب أداء الخلية الموضعية بين نقط الاتصال. لهذا السبب فإن قياس فرق الجهد أو تدفق التيار (IR Drop) في المنشأ يكون مفيداً فقط في تعيين مكان المناطق الأنودية الكثيفة. الطريقة موضحة في الشكل (8/7).

نظراً لأنه قد يكون المطلوب القراءة الدقيقة حتى واحد مليفولت، فإن المقاومة لخوابير الاختبار والتوصيلات مع المنشأ يجب أن تكون منخفضة ، بما قيمته 1% مقارنة بالمقاومة الداخلية للفولتميتر.

عند معرفة مقاومة الماسورة، فإن سريان التيار يمكن حسابه من قانون أوم أى  $I = E / R$ .

حيث  $I$  = التيار بالأمبير

$E$  = الجهد بالفولت

$R$  = مقاومة الماسورة بالأوم ( بين نقط التوصيل ) .

في حالة عدم معرفة مقاومة الماسورة الجارى دراستها ، فإنه يمكن تقديرها من الجداول التي تنشر لمختلف أقطار مواسير الصلب، أو أن يتم معايرتها في الموقع وذلك بإدخال تيار معلوم خلال مقطع اختبار للماسورة وملاحظة فرق الجهد الناتج (IR Drop) .

2- حيث أن نفس التيار الذي يسرى في الماسورة يجب كذلك أن يسرى في التربة المجاورة، حيث الزيادة الأكبر في مقاومة التربة تنتج قراءات مليفولت ذات قيمة أكبر كثيراً عن المستخدمة في التربة ، تعديل التقنية يستخدم كثيراً على المواسير المدفونة

والغير مغطاة بطبقة حماية . وهذا يسمى الجهد السطحي (Surface Potential) أو المساحة بالقطين (2 Electrode Survey).

المساحة الحقلية للجهد السطحي تتطلب مليفولتمتر أو بوتتشيومتر - فولتمتر مع مفتاح عكس الاستقطاب (Polarity reversal switch) ، قطبين من النحاس/ كبريتات النحاس ومجسات اختبار مناسبة.

كذلك فإن طاقم الاستطلاع الكامل يجب أن يكون معه محدد لموقع الماسورة (Pipe Locator) ، ومقياس لمقاومة التربة بمحاذاة الماسورة ، ذلك لأنه من المهم التوقف في الحال فوق الماسورة لمعرفة مقاومة التربة عند الأماكن الأنودية. قطبي النحاس/ كبريتات النحاس ، والذي يجب المحافظة عليهم في حالة جيدة بحيث يمكن القراءة في خلال 2 مليفولت لكل منهما ، يتم وضعهم فوق الماسورة بفاصل بينهما بمسافة مناسبة، عادة 20 قدم ، ويتم قراءة فرق الجهد (بالمليفولت) واستقطاب القطب (Electrode Polanty) على العداد وتسجيلها. يتم عندئذ تحريك الأقطاب أسفل الخط 20 قدم، مع المحافظة على الفاصل بينهما. بهذه الطريقة فإن قراءات المليفولت واستقطاب القطب يتم تسجيلهم على الطول الكلي للخط الجارى دراسة المساحية.

الطريقة موضحة في الشكل (8/8). يجب ملاحظة أن الجهود ما بين الماسورة - التربة ، رغم أنه يمكن الحصول عليها بسرعة عند أى نقطة حيث يكون ذلك مطلوباً وذلك بتوصيل الماسورة.

يتم التعرف على المساحات الأنودية والكاثودية عند نقطة عكس الجهد (Potential Reversal) . نظراً لأن المناطق الأنودية هي الأكثر أهمية، فإنه يمكن التعرف عليها أثناء عملية إجراء المساحة، قياسات مقاومة التربة، عادة مع قراءات مليفولت لجانب الصرف (Drain Side) ، يتم الحصول عليها في نفس المكان. هذه سيتم الحاجة إليها فيما بعد بواسطة مهندس التآكل للتقييم السليم لمدى عدوانية المناطق الأنودية واختيار عدد وقطر الأنودات المطلوبة لعكس (Reversal) سريان تيار التآكل في تلك النقط الساخنة.

قرار مهندس التآكل له أهمية بالغة في توفير النجاح بهذه التقنية على آلاف الأميال من خطوط المواسير العادية.



### قياسات مقاومة التربة (أو الماء) :

حيث أن سريان التيار إلى ومن الماسورة يحدث عموماً عند المساحات ذات أدنى مقاومة للتربة ، من المنطقي فرضية أن التربة ذات المقاومة المنخفضة يمكن أن تكون أنودية. عندئذ فإن هذه الطريقة تحدد فقط فرصة التآكل المرتبطة بمقاومة التربة وكذلك تحديد المكان الذي يمكن أن يحدث فيه التآكل. وهي لا تبين ما إذا كان التآكل يحدث حقيقة أو مدى سرعته.

التقنية هي واحدة لتحديد مقاومة التربة ، مقيم بطريقة صحيحة بالأوم سنتيمتر، عند مناطق سبق اختبارها باستخدام جهاز الأربع أقطاب (مثل Vibroground or Megger) أو المجسات ذات النقطة الواحدة (Single point probes) مثل (Agra Rod) القيمة الحقيقية للمقاومة فقط عادة ذات معنى قليل، الأهمية الأكبر للبيانات المساحية تقع في الاختلافات في قيم مقاومة التربة على طول الخط.

بعض الشركات اختارت 2000 أوم - سنتيمتر كقيمة الشك (Suspect) وهذا يعني عند مقاومة أقل من تلك القيمة يتوقع حدوث تآكل حاد. كما يجب ملاحظة أنه يمكن حدوث التآكل الحاد كذلك على الماسورة العارية والغير مغطاة وذلك عند حدوث تغير حاد في مقاومة التربة (مثال من 5000 إلى 50000 أوم-سم).

نتيجة الأعمال المساحية هذه يمكن أن تستخدم لاختبار المناطق حيث يتم تنفيذ إجراءات الحماية مثل طبقات التغطية والحماية الكاثودية.

### الأعمال المساحية لمتطلبات التيار Gurren Requirements Surveys

الكمية الحقيقية للتيار المطلوب للحماية الكاثودية لمنشأ معين يمكن الوصول إليها بواسطة مهندس التآكل بعدة طرق. وهنا نعني بالحماية الكاثودية أنها توفر الحماية التامة من التآكل (ويمكن تحقيقها باستخدام بعض القواعد المختارة مثل جهد - 0.85 فولت بالنسبة لقطب النحاس/ كبريتات النحاس وليس بطريقة الحماية للنقط الساخنة).

في حالة وجود خط مواسير غير مغطى أو أى منشأ آخر في التربة أو الماء ذو خواص عامة معينة ، فإن ذلك يمكن مهندس التآكل من تصميم الحماية الكاثودية بناءً

على استخدام كثافة تيار يتم إخبارها (ملياًمبير/القدم المربع) إلى المنشأ، شريطة أن يقوم بتوزيع التيار بطريقة مناسبة.

في حالة المنشآت الضخمة العارية ، فإنه من الناحية العملية نادراً ما تستخدم بصفة مؤقتة كمية التيار المطلوبة للحصول على جهود الحماية ، لذلك فإن تصميم الحماية الكاثودية عادة يبنى على أساس كثافة. التيار التي سبق وصفها. في المناطق حيث لا تتوفر الخبرة السابق (مثل الأنهار الملوثة ، الخلجان ، المياه المنتجة .. الخ) ،

فإن استخدام عينات الاختبار في مجال من كثافات التيار المستخدمة لفترة زمنية عدة أسابيع أو عدة أشهر قد ساعد في الوصول إلى كثافة التيار المناسبة التي على أساسها يبنى التصميم.

في حالة المنشآت المغطاة، مع أخذ خط المواسير كمثل، فإنه يمكن عمل نقطة صرف لحماية كاثودية مؤقتة وتعيين كمية التيار المطلوب لحماية إما الخط كله في حالة كونه قصير نسبياً وأن يكون معزولاً عن المنشآت الأخرى ، أو جزء مغطى من الخط. في حالة الخطوط الطويلة فإنه قد يكون من الضروري العديد من هذه الاختبارات ، وخاصة في حالة وجود اختلافات كبيرة في حالة طبقة التغطية و/أو مقاومة التربة في مناطق مختلفة. يمكن استخدام تيار اختبار مؤقت بحوالي 10 أمبير ببطارية شحن وحتى 100 أمبير بواسطة مولد اللحام. الطبقة الأرضية المؤقتة المستخدمة لصرف تيار الاختبار في التربة يمكن أن تكون أي منشأ موجود غير هام ليس متصلاً كهربياً بخط المواسير تحت الاختبار، مثل مقاطع المواسير أو قيسونات الآبار المهجورة والغير مستخدمة. في كثير من الحالات يجب إنشاء طبقة أرضية (Ground Bed) مناسبة ومؤقتة لأغراض الاختبار من قضبان الصلب ، أو لفائف الألومنيوم، أو من الأنودات الحقيقية حيث يمكن تركها في المكان لإنشاءات ثابتة فيما بعد أو أن تنشأ بالطريقة بما يمكن من قابليتها سحبها لإعادة الاستخدام. من المرغوب فيه وضع طبقات الاختبار على الأقل لصرف التيار الضخم. عند مسافة من خط المواسير تشبه لما هو متوقع لإنشاءات الطبقة الأرضية الثانية فيما بعد.

الأعمال المساحية لقيسونات البئر لاستخدام الحماية الكاثودية قد تشمل عديد من التقنيات التي تم وصفها سابقاً. أداة تعيين الجهد على امتداد القيسون (Casing potential profile) التي تم شرحها في الفصل الثالث ، تستخدم أولاً لتعيين المساحات الأنودية الكبيرة والمساحات الكاثودية ثم تأكيد تأثير تيارات الحماية الكاثودية المؤقتة المستخدمة عند رأس البئر.

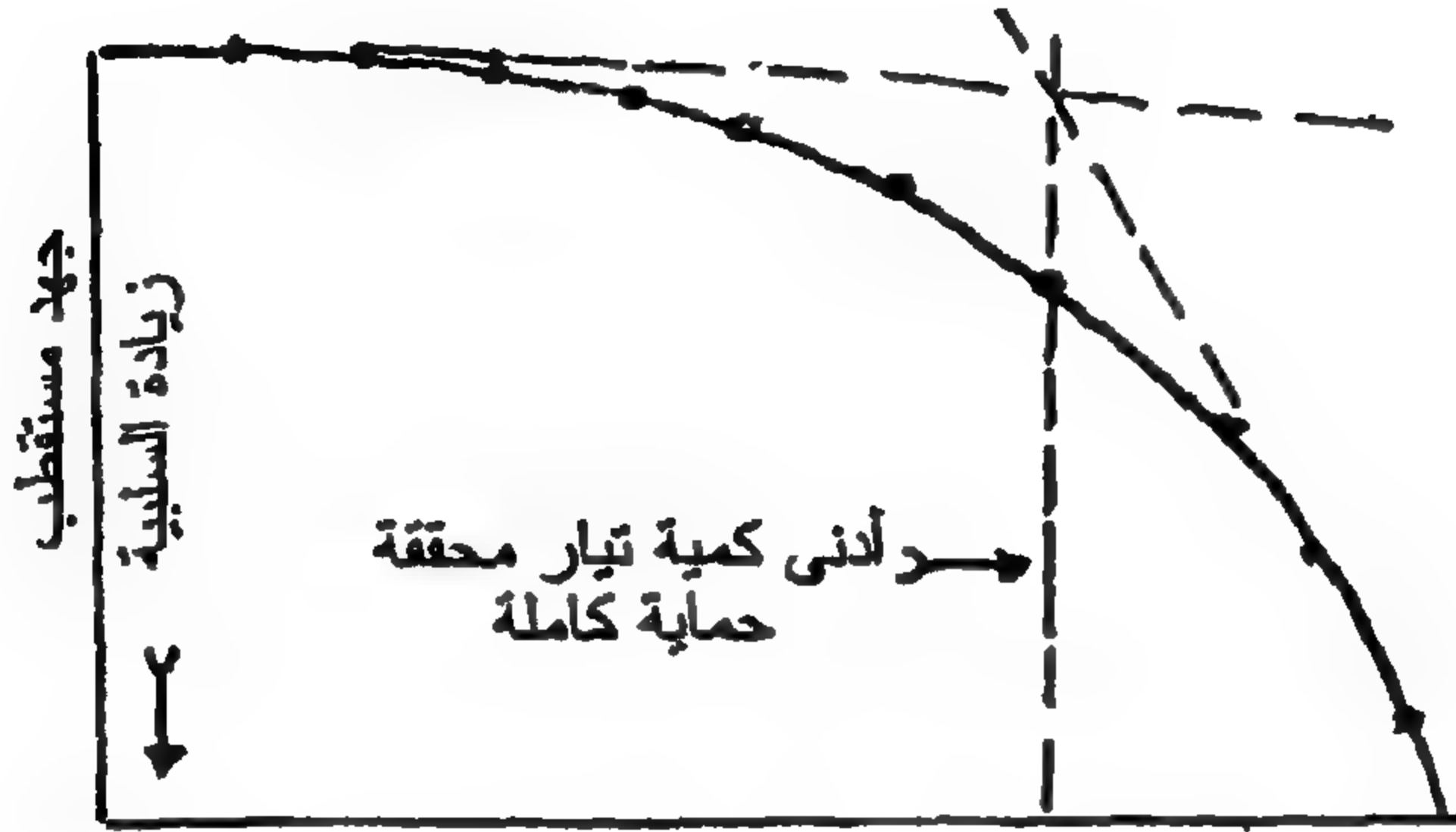
المنحنى شكل (2/11) يمثل السجل (Log) الذي يجب الحصول عليه عند استخدام التيار إلى القيسون من مصدر مؤقت. في هذا السجل تم تحريك المنحنى الكلى نحو اليمين، والجزء الأنودى الأولى (A إلى B) يكون الآن كاثودى، مبيناً أن تيار الاختبار يكون داخلاً للقيسون عند كل النقط من القمة إلى القاع. كما تم ذكره سابقاً، هذه الأمثلة مثالية إلى حد ما وفي كثير من الحالات يمكن استخدام قيم مختلفة ومتعددة لتيار الاختبار وذلك قبل اختيار الكمية الصحيحة. للمحافظة على وقت التسجيل (بالإضافة إلى خفض الوقت لتسجيل بئر الزيت أو الغاز) ، تقديرات التيار المقدر (Predicted) تعمل كثيراً ، كما توجد تقنيات كثيرة مستخدمة لعمل هذه التقديرات. بعض الفنيين يستخدم كقاعدة عامة، كمية معينة من التيار لوحدة المساحة (الكمية النموذجية هي 1 أمبير لكل قدم مربع) للوصول إلى تقدير التأكيد بواسطة سجل الفولت (Voltage profile log) . والبعض الآخر يستخدم تقنية الـ (E log I) التي سيتم وصفها في الفقرة التالية لعمل تقديراتهم.

التقنية الأخرى لتعيين التيار المطلوب للحماية الكاثودية لقيسونات البئر والذي في الاستخدام العادى يسمى الطريقة المساحية (E log I) .

أساساً تتكون هذه الطريقة من استخدام زيادة قليلة من التيار إلى قيسون البئر لفترات محددة من الوقت ، مثل دقيقتين أو ثلاث دقائق. بعد كل فترة زمنية من الوقت يتم فصل التيار ويتم الحصول على جهد لحظى "للدائرة المفتوحة" للقيسون بالنسبة لوضع جيد لقطب قياسى على السطح. عند توقيع هذه البيانات على ورقة شبه لوغاريتمية تعطى منحنى مثل الموضح فى الشكل (8/9). من الاعتبارات النظرية التيار المعطى بواسطة تقاطع أجزاء خطين متقاطعين لهذا المنحنى (النقطة A فى الكل (8 / 9) ستبين التيار المناسب للاستقطاب أى لحماية القيسون. الاعتبارات أخرى وبسبب علاقة أفضل بتأثير التيارات المستخدمة على جهد القيسون الجانبى ، فلقد كان الأداء العادى استخدام

قيمة تيار للنقطة الأولى لتقع على جزء الخط المستقيم الثانى للمنحنى (النقطة B) فى تصميم نظم الحماية الكاثودية لقيسونات البئر.

معظم مهندس التآكل يقبلوا الحقيقة التى أقرت بأن متطلبات التيار المطلوبة لحماية قيسونات البئر ليست أى شىء مثل العلم الحقيقى. ولكن عدة آلاف من الآبار تم حمايتها بالطريقة الكاثودية على أساس مثل هذه البيانات ، مع الوصول إلى نتائج باهرة .



شكل (8/9) توقع الجهود من القيسون للبئر على ورقة شبه لوغاريتميه. موقعا قسمى الخطين المستقيمين يمكن من تعيين مكان ، النقطة . تبين قيمة التيار اللازم لحماية القيسون. النقطة تبين التيار المطلوب لاستقطاب القيسون.



## **الفصل التاسع**

**استخدام الحماية الكاثودية  
لمعدات إنتاج البترول والغاز**





### قيسونات البئر (Well Casings) :

احتياجات التيار لقيسون البئر، مع قليل من الاستثناءات تقع في المجال ما بين 1 إلى 25 أمبير. الاحتياجات الصغيرة يمكن مقابلتها باستخدام الأنودات الجلفنية (Galvanic Anodes). في كثير من الحالات، تكون مقاومة التربة مرتفعة جداً للأنودات الجلفنية، حتى بالنسبة للتيارات الصغيرة، ويصبح نظام التغذية بالتيار التأثيرى ضرورى. بغرض الاعتبارات الاقتصادية، عادة ينشأ وحدة واحدة من معدل التيار - الطبقة الأرضية (One Rectifier Ground Bed) وذلك للتعامل مع عدة قيسونات للآبار متصلين، إما بعمل وصلات منفصلة سالبة لمختلف الآبار، أو باستخدام خطوط التدفق (Flowlines) كموصلات للآبار. في أى الحالات، فإنه يجب عزل قيسون البئر من خط التدفق. يمكن وضع مقاوم التحكم في التيار (Current Controlling Resistor) عبر وصلة العزل هذه وذلك لصرف قليل من التيار من خط السريان إلى البئر (لتوفير بعض للحماية الكاثودية لخط التدفق، حيث إبعاد أى تداخل كاثودى محتمل عليه). البديل، يمكن صرف التيار من البئر إلى خط التدفق حيث استخدم الآخر كموصل للتيار العائد (Back) إلى الوصلة السالبة لمعدل التيار (Rectifier - ve Pole). في كثير من المناطق، فإن مقاومة التربة، حتى مع معدلات التيار، تصميم طبقة أرضية اقتصادية لإنتاج التيار المطلوب بفولت مناسب تكون مشكلة. حيث الطبقة تحت السطحية تكون ذات مقاومة أقل، فإنه يصبح أحياناً استخدام طبقات أرضية من نوع البئر اقتصادى، حيث كل الأنودات تكون موضوعة واحد فوق الآخر في حفرة عمودية من 6 إلى 8 بوصة. مثل هذا الإنشاء موضح في الشكل (9/10) كما يستخدم إما لخط المواسير أو لقيسون البئر (خط مواسير عمودى).

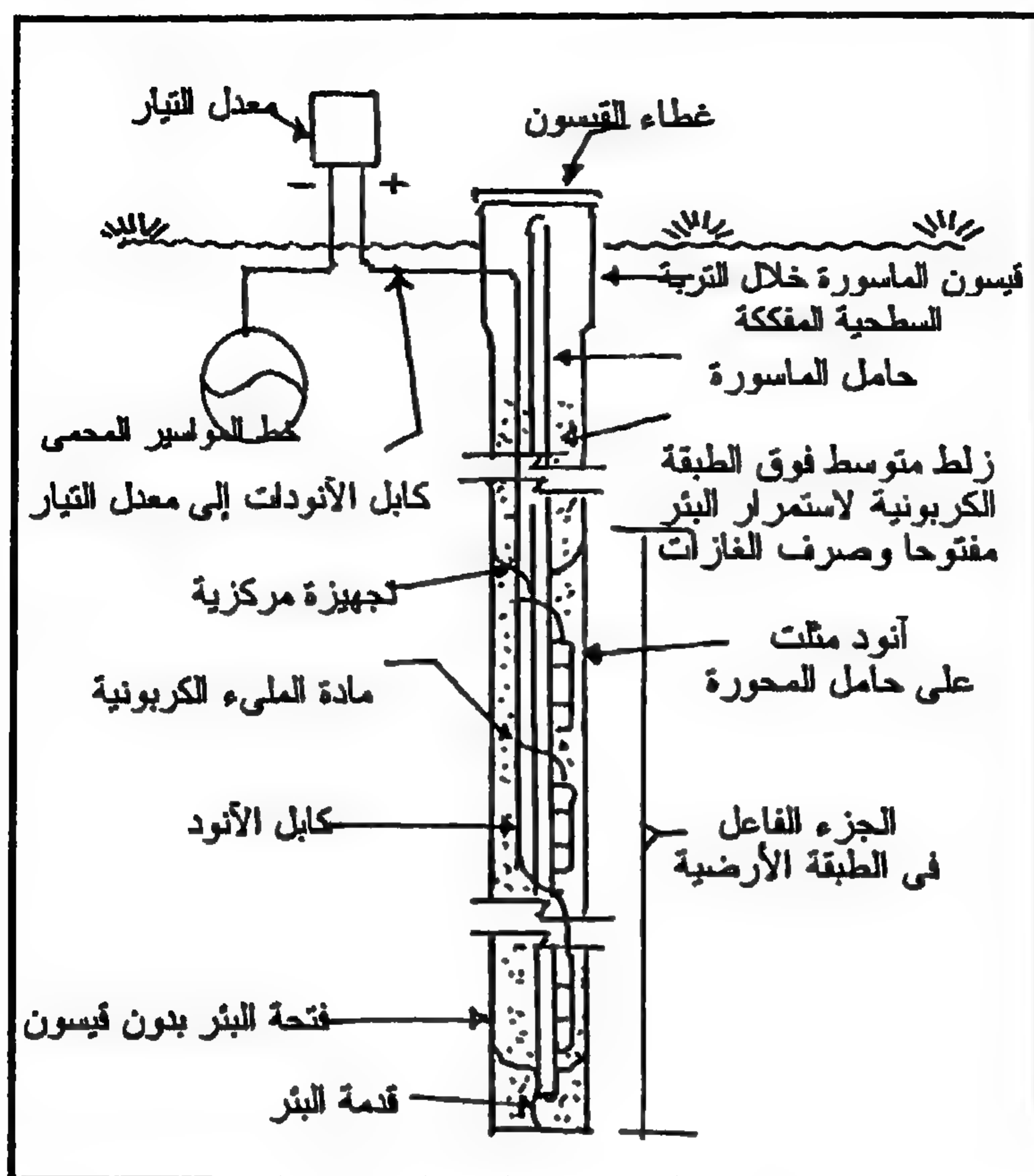
تظهر مشكلة ضبط معدل التيار (Rectifier) عند حماية عدد كبير من قيسونات الآبار في الحقل حيث مقاومة سطح الأرضية إلى التربة قد تتغير أساساً مع تغير رطوبة التربة. وقد أدى هذا إلى زيادة الاستخدام لنوع معدل للتيار "التيار الثابت" (Constant Current Type Rectifier) في إنشاءات الحماية الكاثودية لقيسون البئر. تصمم هذه الوحدات بحيث، أنه خلال مجال مناسب لمقاومة الطبقة الأرضية، فإن معدل التيار يقوم آلياً للتعويض بالنسبة لزيادة مقاومة الدائرة والمحافظة على خرج التيار للوحدة الذى سبق

إختباره. هذه الظاهرة ليست مطلوبة عادة مع الطبقات الأرضية من نوع الطبقة الأرضية للبئر (Well type ground bed) ، والتي تتأثر قليلاً بحالات رطوبة السطح.

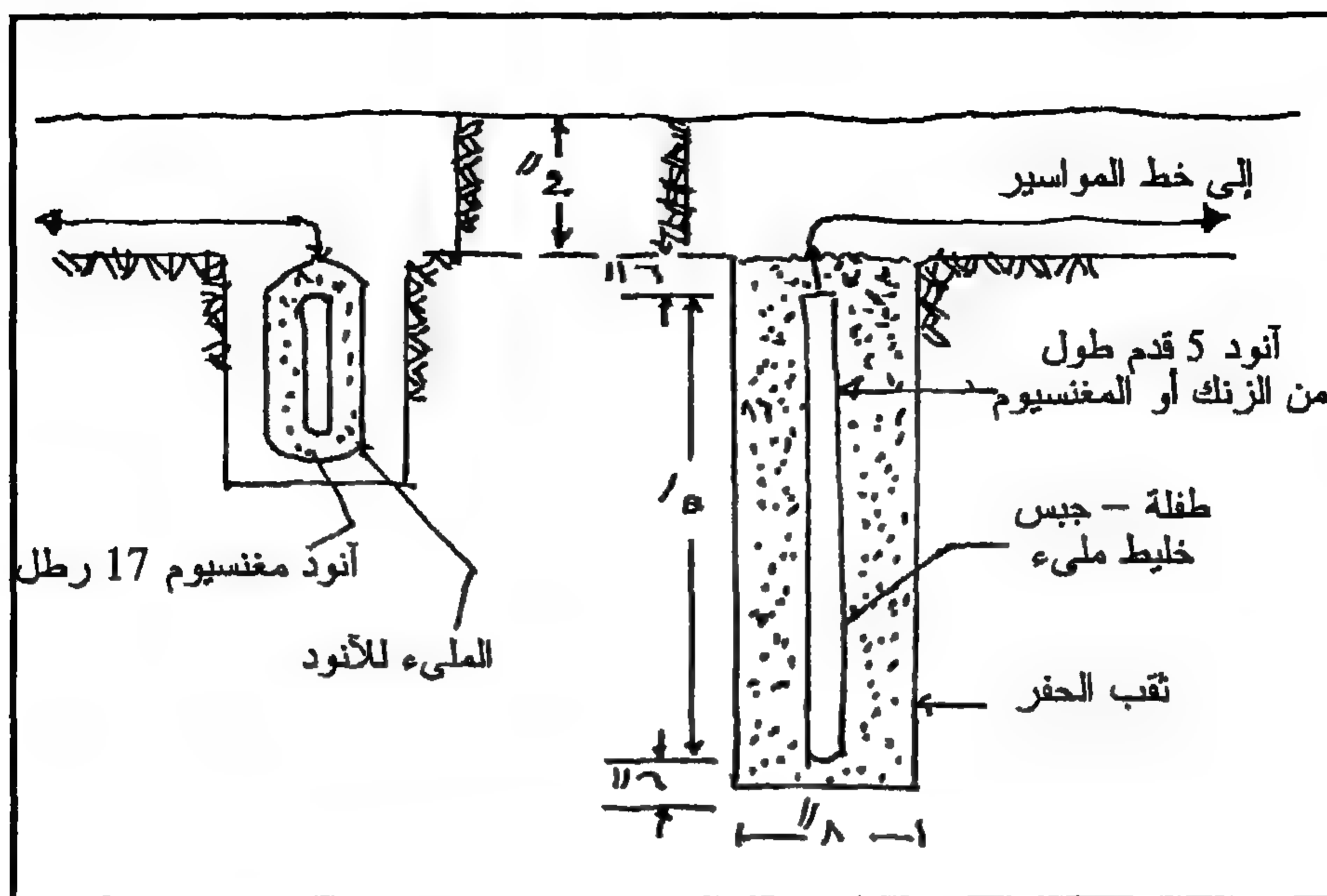
### خطوط المواسير : (Pipelines)

في حالة التغطية الجيدة بمواد الحماية لخط المواسير وأن لا يكون طويلاً جداً، فإن التيارات اللازمة ستقع عادة في المجال حيث إنشاءات الأنودات الجلفنية، منفردة أوفى مجموعات، وتلك هي الطريقة العملية لعمل الحماية الكاثودية ، الشكل (9/11) الخطوط الحقلية العارية والغير مغطاة بطبقة الحماية قد لا تبرر الحماية الكاثودية عدا في الحالات شديدة العدوانية. حيث يمكن إما إعادة تأهيلهم ، وتغطيتهم ووضعهم تحت الحماية الكاثودية الكاملة كما سبق ذكره، أو أن يتم عمل المساحة الحقلية لهم الجهد السطحي الجانبي (Surfale potential profile) بتقنية القطبين (2 Electrodes) ثم يلي ذلك وضعهم تحت حماية "النقط الساخنة" بالأنودات الجلفنية. معرفة مناطق الصرف أو النقط الساخنة يمكن أن يكون كافياً باستخدام عدد محدود من إنشاءات الأنود الجلفني. معظم خطوط النقل والتوصيل الهامة يتم إجراء المساحة العادية لها ثم حماية النقط الساخنة، إذا كانت عارية ، أو توضع تحت الحماية الكاثودية الكاملة إذا كانت مغطاة بطبقة حماية. غالباً فإن الخطوط المنشأة الجديدة ذات أى أهمية تكون مغطاة جيداً، بما يجعل مهمة الحماية الكاثودية الكاملة اقتصادية جداً وبسيطة نسبياً. أى خط مواسير يكون مطلوب حمايته كاثودياً يتم عزله كهربياً (وذلك باستخدام فلنجات عزل، وصلات مقلوطة الطرفين، Unions, Flanges, Coupling or Nipples) بحيث أن يكون تيار الحماية الكاثودية مخصص فقط للمنشأ المطلوب من أجله. حتى أن وسيلة معدنية واحدة لقيسون البئر كمثال، ليست تحت الحماية الكاثودية سوف تسبب فقد كبير للحماية على خط المواسير ويرجع ذلك إلى حيود تيار الحماية الكاثودية نحو القيسون ، والذي أصبح جزءاً من دائرة الحماية الكاثودية.





الشكل (9/10) تصميم الطبقة الأرضية للبئر العميق باستخدام الأنودات والحشو الكربوني في البئر المفتوح.



**الشكل (9/11) نموذج لإنشاءات الآنود**

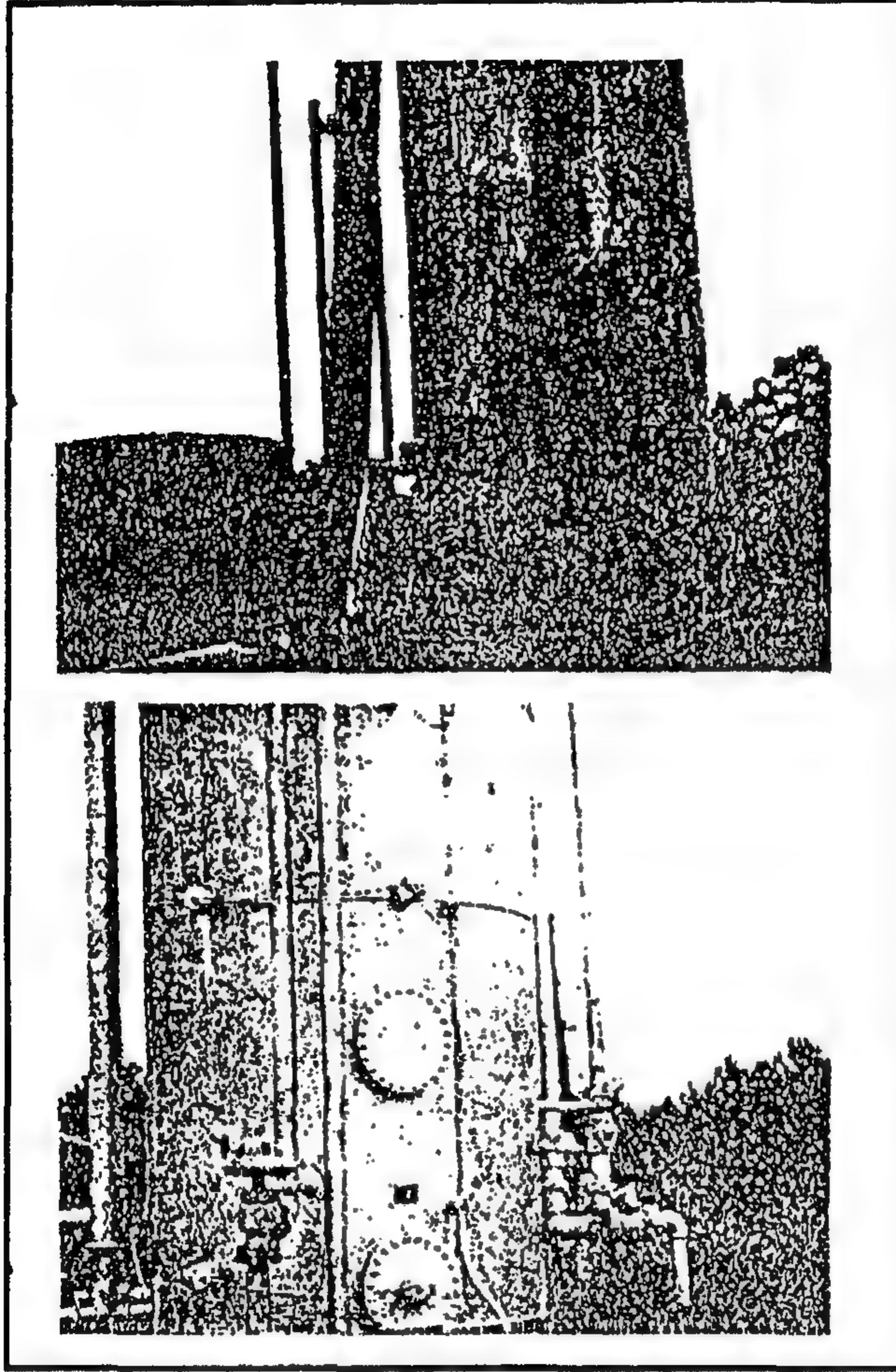
## Surface Equipment and Vessels : الأوعية والمعدات السطحية

هذه المعدات مثل خزان إنتاج وصرف المياه المالحة، المعالجات الحرارية (Heat - Treaters) ، أوعية أو صهاريج التجميع (Accumulators) ، أجهزة الفصل (Separators) والمرشحات تكون معرضة للتآكل بفعل المياه المالحة المنتجة. درجات الحرارة المرتفعة مع وجود البكتريا المختزلة للكبريتات في كثير من الحالات، يؤدي إلى قصر عمر المعدة وذلك في حالة عدم استخدام الحماية الكاثودية. وهذا واقع كما هو متوقع بالنسبة لماسورة اللهب في المعالجات الحرارية حيث يحدث التلف بفعل التآكل في خلال ثلاث شهور في حالة عدم الحماية.

الشكل (9/12) يوضح معالج حرارى (Heat Treater) تلف بفعل التآكل الداخلى للمياه المالحة، وكذلك الذى تم حمايته كاثودياً واستمر فى الخدمة حتى 7 سنوات.

كثافات تيار الحماية النموذجية هي في المجال ما بين 5 إلى 10 ملي أمبير/ القدم المربع، واختيار مصدر التيار هو أساساً طبقاً لتوفر مصدر التيار المتغير. أحياناً

استخدمت المولدات للتيار المستمر أو (Alternators) (مع وجود جهاز معدل التيار Rectifier) محمل على وحدة الضخ.



شكل (9/12) (A) معالج تسخين غير محمي (B)

معالج تسخين محمي كاثودياً بعد 7 سنوات.

عند توفير مصدر التيار المتغير، يمكن استخدام معدل التيار لحماية وعاء أو أكثر من وعاء ، باستخدام أنودات الجرافيت أو التيتانيوم المغطى بالبلاطين (Pr-ri) التي تنشأ خصيصاً خلال حاملات الحائط (Through the wall mounts) . أنودات التيتانيوم المغلف بالبلاطين تكون صغيرة جداً ويمكن ازلاجها داخل أو خارج الحامل بينما يظل

الإناء في العمل. ولكن مشبطات معينة وكاسرات المستحلب تعمل على إعاقة سريان التيار من منطقة بلاتينية صغيرة نسبياً (فقط 6 بوصة  $\times$  3/4 بوصة للقطر حيث قضيب التيتانيوم المغطى بالبلاتين) حيث يجب عمل الأبحاث مقدماً لأي تجهيزات ضخمة لمثل هذه الأنودات. بينما تعاني أنودات الجرافيت بعضاً من خفض الخرج لنفس الأسباب، فإن المساحة الأكبر توفر تحقيق سريان مناسب للتيار في كل ولكن في حالات نادرة جداً. يمكن استخدام أنودات حديد الزهر عالي السيليكون المقاوم للكلور عند إعاقة الجرافيت بتشبع الزيت.

عندما لا يتوفر مصدر طاقة كهربائية ترددية (AC)، فإنه يمكن توليد تيار الحماية إما بأنودات المغنسيوم أو الألومنيوم مثبتة خلال الجدار بنفس طريقة وضع أنودات الجرافيت. في هذه الحالة، فإن دائرة الأنود الجلفتي تكون قد اكتملت خارجياً بسلك تخطى أو عبور (Jumper Wire) نحو حائط الإناء المجاور، بحيث يمكن قياس سريان التيار وضبطه لكل أنود مستقل عند نقطة تثبيته. نظراً لأن المغنسيوم شديد النشاط فإن خرج التيار منه إلى الإناء يجب أن يقيد تماماً لتجنب الحماية الزائدة التي لا تعود بفائدة. ولكن هذا ينتج عنه خفض كبير في كفاءة الأنود ذلك لأن الأنود سيستمر في التآكل عند نفس المعدل تقريباً وجزء صغير فقط من تيار تأكله يكون مستخدماً في حماية الإناء. أنود الألومنيوم يوفر خرج أقل كثيراً ولكن لا يزال مناسب في المياه المالحة لحقول الزيت، حيث المحافظة على كفاءة التيار بنسبة 60 - 70%. المتبع في سطح الأواني، هو البناء لوضع أنود الألومنيوم للحماية، بينما يتم مسمرة (Bolted) واحد أو أكثر من الأنودات على شكل كمرة (Slabshape) معاً، طبقاً لعمر النظام المطلوب. يتم عندئذ وضع الحزمة في الطوب الحراري أو تعليقها على حوامل داخلية في كل غرفة. يتم عمل وصلة كهربائية باستخدام سلك نحاس معزول إلى الأرض على لوح التغطية، بحيث يمكن عمل نموذج للإنشاء بدون فصل الغاز من النقط الخام للإناء (Degassing the vessel). لقد أظهرت أنودات الزنك الميل نحو أن تكون مخنوقة (Throttled) في بعض المياه المنتجة، بنفس الأسلوب ولنفس الأسباب كما ذكر سابقاً بالنسبة لأنود البلاتين - التيتانيوم.



أنودات الألومنيوم والمغنسيوم يبدو أنها لا تتأثر كثيراً ويمكن استخدامها عادة حيث لا يمكن استخدام الزنك.

أنودات الزنك لا يتم استخدامها في المياه المنتجة (Produced waters) عند درجة حرارة أعلا من العادية عدا في حالة أن الاختبارات في الماء تحت ظروف التشغيل أثبتت أنها مناسبة. الزنك يقوم بعكس الاستقطاب (Reverse polarity) مع الصلب في كثير من أنواع الأليكتروليت عند درجات الحرارة المرتفعة وبسبب التآكل وليس الحماية ضد التآكل.

خزانات المياه المالحة يتم حمايتها عادة من التآكل الداخلي بالحماية الكاثودية فقط، أو بكل من طبقة البطانة الداخلية والحماية الكاثودية. في حالة استخدام طبقة البطانة للتغطية الداخلية، فإنه يجب الحرص نحو عدم استمرار الجهد العالي جداً عبر طبقة البطانة والذي يمكن أن ينتج عنه تشقق وتلف شديد بطبقة البطانة. وهذا بالتحديد يسهل عمله مع الضبط الخاطئ لمعدل التيار (Rectifier). ولكن حتى أن أنودات المغنسيوم سوف توفر جهود ضارة إلا إذا تم التحكم المناسب في خرج التيار. ثانياً، الألومنيوم مع جهده المنخفض يوفر تيار حماية آمن وأكثر من مناسب كمصدر لتيار الحماية للأرواني المغطاة بطبقة حماية.

كلاً من أنودات الجرافيت والأنودات الجلفنية يتم تعليقهم من سقف الخزان خلال وسيلة تعليق بالسقف خاصة. الأنودات يمكن اختبارهم واستبدالهم بمثل هذا التنظيم.

القيعان الخارجية لخزانات الإنتاج والتخزين تكون ملتصقة بالتربة والتي حتى ولو كانت غير عدوانية، فإنها تصبح عدوانية بسبب طرطشة وتسرب الماء للمالح. لذلك يجب إعطاء الاهتمام لحماية القاع الخارجي، إما بالأنودات الجلفنية الموضوعة في التربة حول الإناء أو بإنشاءات التيار المسلط. في حالة الإنشاءات الصغيرة يكون أحياناً من الممكن تصميم نظام حماية كاثودية لكل من الحماية الداخلية والخارجية باستخدام معدل تيار واحد. في حالة النظم الضخمة، يفضل استخدام نظم حماية كاثودية منفصلة بسبب مشكلة

التحكم فى التيار بين الدوائر ذات المقاومة المختلفة بدرجة كبيرة حيث يستخدم تيار أضخم.

بينما أن المياه العذبة لا تكون عدوانية مثل المياه المالحة، فإن معدات معالجة المياه التى تتداول المياه السطحية يجب حمايتها من التآكل لتأكيد استمرار العمل. كما أن الجمع بين التغطية للسطح بطبقة حماية مع الحماية الكاثودية يمكن أن يكون مؤثر بنسبة 100% لحماية الأسطح المغمورة لهذه المعدات. عدا فى حالة أن الماء موصل بدرجة مناسبة، فإنه سيكون المطلوب لتوفير تيار حماية كافى نظام تيار مسلط باستخدام أنودات الجرافيت أو أنودات السيلكون - الحديد. يجب الحرص عند وضع الأنودات لتوفير التوزيع الجيد للتيار لكل أسطح المعدة المغمورة فى الماء، وخاصة عند احتوائها على غرف داخلية وعوائق.

#### خزانات حفظ الزيت :

##### الحماية الداخلية :

نظراً لأن طبقة الماء والرواسب الموصلة عند قاع الخزان تكون ضحلة إلى حد ما، لذلك فإن الحماية الكاثودية للقاع الداخلى للخزان تكون أكثر صعوبة عن كون الخزان ممتلئ جزئياً بالماء. لهذا السبب الحماية الكاثودية الداخلية لخزانات الإنتاج فى حقول البترول لا تستخدم أحياناً. ولكن فى حالة الخزانات الضخمة والأكثر أهمية فى النهايات وفى معامل التكرير فإن الأنودات الجلفنية الموزعة على القاع على وسادة أو قاعدة معزولة استخدمت حيث أعطت نتائج ممتازة. يحدث هذا عندما يكون من الممكن المحافظة على طبقة مياه بعمق 6 - 12 بوصة لتوفير ممر جيد لتيار الحماية والذى ينتشر من خلاله بين الأنودات. أنودات المغنسيوم، الزنك والألومنيوم استخدمت لهذا الغرض ، حيث الألومنيوم له ميزة العمر الأطول للأسباب التى تم ذكرها.

##### الحماية الخارجية :

عندما تكون التربة معروفة أو يتوقع أن تكون عدوانية (من مقياس المقاومة) فإن الحماية الكاثودية للقاع الخارجى للخزان يكون مبرر باستثناء أن الخزانات تم بناءها على

طبقة من الصخر المطحون النظيف والتي تعزل القاع عن التربة أسفل هذه الطبقة. عادة لا يعتمد على الملى بالرمل بتسبب أو بدون تسبب للزيت في حالة وجود التصاق جيد مع المياه الأرضية في نقطة واحدة أو أكثر، كتل الطفل أو التربة المحلية نفسها، فإنه يمكن حدوث التآكل السريع واختراق الصلب بسبب تأثير خلايا التآكل الموضعي السريع.

بينما الخزانات الصغيرة أو مجموعات الخزانات يمكن حمايتها بنجاح بالأنودات الجلفنية، فإن الأجراء العادي هو إنشاء وحدات تعديل تيار ضخمة (Large unit) Rectifier بالاتصال مع طبقات موزعة من أنودات الجرافيت أو السيليكون لتوليد وتوزيع الكميات المقطرة من التيار المطلوب للحماية الكاثودية لهذه المساحات الضخمة من الصلب. كثافة تيار واحد ملي أمبير على القدم للمربع ( $I m A / Sq ft$ ) عادة تكون مناسبة ، في حالة التوزيع الجيد للتيار.

تظهر مشكلة عند قياس تأثير استخدام الحماية الكاثودية، ذلك لأن جهد الخزان عند الأطراف عادة لا يمثل الجهد الحقيقي عند مركز الخزان . لهذا السبب ، يكون من المفضل حمل جهد 0.05 إلى 0.1 فولت (أكثر سلباً) عن الأدنى - 0.85 فولت عند الحافة، وذلك لضمان تأكيد أن المساحة في المنتصف ستكون قريباً من - 0.85 فولت.

عند إنشاء خزانات جديدة فإنه يمكن وضع نصف بطارية ثانية قياسية في شكل أنود زنك صغير مغلف على عمق 6 بوصة أسفل قاع الخزان قرب المنتصف. سلك التوصيل يتم امتداده إلى الخارج إلى صندوق اختبار عند حافة الخزان، حيث الجهود بين الخزان - الزنك يمكن قياسها بمجرد استخدام الحماية الكاثودية. نظراً لأن الزنك يوفر حوالي - 1.1 فولت مقاسه إلى القطب القياسي نحاس/ كبريتات النحاس، فإن جهد الخزان إلى الزنك يمكن تحويله سريعاً إلى قراءات الخزان إلى النحاس/ كبريتات النحاس بدقة كافية لتوفير تقييم تأثير الحماية الكاثودية عند مركز الخزان.

قريباً تم تطوير خزانات تخزين تحت الماء. هذه تكون معرضة للتآكل الداخلي والخارجي بفعل مياه البحر. نظراً لأنها أساساً منشآت بحرية فإن حمايتها سيتم مناقشتها عند تناول الحماية للمعدات في مياه البحر كالاتي :

### منشآت الحفر والإنتاج البعيدة عن الشاطئ (فى البحر) :

فى صناعة البترول تتفق استثمارات ضخمة لإنشاءات الحفر فى البحر بعيداً عن الشاطئ وإنشاءات الإنتاج ، سواء الثابتة أو الطافية (المتحركة) ، بما فيها النهايات البحرية بمختلف أنواعها ، تآكل تلك الإنشاءات كان مشكلة مكلفة ، حيث تم تكثيف الجهود لخفض هذا التآكل وتطوير نظم مقاومته.

يمكن تقسيم التآكل للمنشآت فى عرض البحر إلى أربعة مناطق للتآكل. هذه المناطق الموضحة فى الشكل (22/23) تتطابق إلى حد ما خلال نفس المنطقة. هذه المناطق الأربع هى:

1. منطقة الطفلة أى الجزء من المنشأ أسفل قاع البحر.
  2. المنطقة أو المنطقة أسفل سطح الماء، حيث يكون المعدن مغطى دائماً بالماء ( المحتوى من الأكسجين منخفض أسفل 25 قدم، مرتفع أعلا من 25 قدم).
  3. منطقة الطرشرة ، فوق خط المياه ، حيث يظل سطح المعدن مبتلاً بفعل الموج.
  4. المنطقة الجوية، حيث يبدو المعدن جاف فى معظم الوقت.
- فى المنطقة المغمورة بمياه البحر (أى المنطقة - تحت الماء) فإن التآكل يكون عموماً منتظم بمعدل 5 ملمتر فى العام باستثناء منطقتين. وهما الموجودة أسفل متوسط خط المد والجزر مباشرة والثانية هى المنطقة الموجودة فوق خط الطفلة. التآكل السريع فى كلا هاتين المنطقتين يرجع إلى التغير فى محتوى الأكسجين.

عند السطح البينى (Interface) ، والذي ينتج عنه خلية اختلاف التهوية . أى فعل للحك أو الكشف (Scouring) بفعل الرمال أو الطمي عند خط الطفلة ، بفعل الموج أو تيار الماء، سيسبب زيادة التآكل بفعل الاحتكاك. وهذا يسمى التآكل بفعل الاحتكاك (Erosion - corrosion) .

الحماية الكاثودية يمكن أن تكون مؤثرة بنسبة 100% فى مقاومة التآكل فى مناطق الطفلة والمناطق المغمورة. التلف للمنشآت البحرية يمكن أن يكون حاداً فى منطقة الطرشرة، كما هو متوقع. هنا فإن أداء البلى والغسيل بفعل الأمواج يحافظ على معدل



التآكل عند أقصاه ، تقشر لنواتج التآكل التي تتكون ويزداد سمكها. حد الارتفاع لمنطقة الطرطشة يتوقف على مجال المد والجزر وارتفاع الموجة. الاتجاهات الحديثة تميل إلى زيادة سمك الصلب زائد نظام تغطية ممتاز أو التغطية بشرائح من سبيكة النيكل النحاس (البرونز) للحماية من التآكل في هذه المنطقة، حيث الحماية الكاثودية في أحسن الظروف تكون مؤثرة جزئياً فوق. منطقة الطرطشة.

المنطقة الجوية تبدو جافة، ولكن توجد دائماً طبقة من الملح على هذه الأسطح. الليل هو الوقت لمعظم نشاط التآكل في هذه المنطقة. عند برودة المنشأ ليلاً وزيادة الرطوبة فإن هذا الملح يمتص الماء من الهواء حيث يغطي السطح بطبقة ملحية من الرطوبة. الشمس تعمل على جفاف طبقة الرطوبة وتقلل معدل التآكل. نواتج التآكل تميل إلى التقشر في شكل صفائح وهذا التقشر الغير منتظم للصدأ ينشط لتآكل النقبي. عموماً يكون التآكل النقبي أعمق في الجانب السفلي المظلل من المنشأ عنه في السطح العلوي الذي يجف بفعل الشمس. يتم مقاومة التآكل باستخدام طبقات التغطية لهذه الأسطح . نظم الحماية الكاثودية للمنشآت البحرية يمكن أن تكون من نوع التيار المسلط أو الأنود الجلفني ، وذلك طبقاً لمدى توفر مصدر التيار المتغير ومدى سهولة الصيانة لأي من النظامين. نظم التيار التأثري تستخدم معدلات التيار (Rectifiers) ذات معدل خرج كبير لخفض العدد والمساحة التي تشغلها تلك الوحدات. مادة الأنود الأكثر استخداماً هي سبيكة الرصاص (6% أيتمون، 1% فضة) والتي توفر معدل استهلاك 0.1 رطل/ أمبير × العام. مواد أنود أخرى التي استخدمت مع بعض النجاح هي أنودات الرصاص- البلاتين، الجرافيت، سبيكة السيليكون - الحديد - الكروم. سبائك الرصاص - الأنتيمون- الفضة يمكن إما أن تعلق أو توضع في ماسك خاص للارتباط الجيد بأعضاء المنصة تحت الماء . النظم العالقة تكون أكثر حساسية إلى حد ما للتلوث الميكانيكي ، ولكنها بسيطة في الإنشاء وسهلة في الصيانة.

تقريباً كل نظم الأنود الجلفني المنشأة على المنشآت الجديدة تستخدم أنودات الألومنيوم لأغراض اقتصادية. يمكن اختيار الأنودات لعمر 5 ، 10 ، 20 عام ، حيث نظم العمر القصير يكون للأجهزة والآلات المتحركة حيث يكون . من السهل الاستبدال. المنشآت

الثابتة سيكون لها نظم 10 سنوات أو 20 عام مرتبطة في المساحة المصنعة. أنودات المغنسيوم المعلقة يكون استخدامها مفضل حيث نظم العمر القصير، عادة 1.5 إلى 2 عام. هذه أحياناً تتحول إلى نظم 10 سنوات باستخدام أنودات الألومنيوم بإنشاء الغطس.

وحدات تخزين الزيت تحت البحر تستخدم على نطاق واسع مع تحرك إنتاج الزيت إلى مناطق أعماق وبعيدة عن الشاطئ. هذه عادة مع منشآت الحفر الغاطسة، تحتاج إلى الحماية الداخلية وكذلك الحماية الخارجية. صعوبة استمرار التوصيلات الكهربائية وخدمة أنودات التيار المسلط داخلياً قد أدى إلى استخدام أنودات الألومنيوم الجلفنية للحماية الكاثودية للأسطح الداخلية. الحماية الكاثودية الخارجية يمكن أن تكون إما من نوع التيار المسلط أو الأنود الجلفني طبقاً للظروف المحددة.

أرصعة الميناء (Docks)، الأرصفة البحرية (Piers)، أرصفة السفن الممتدة في البحر (Jetties).. الخ يحدث لها أحياناً تآكل حاد، حتى في المياه العذبة إذا كانت متدفقة. هنا فإن وجود مصدر طاقة كهربائية من تيار متغير يؤدي إلى إمكان استخدام الحماية الكاثودية بالتيار المسلط. في المناطق العدوانية المعروفة، وخاصة حيث كثافة التيار للحماية الكاثودية تكون أعلا من العادي بسبب المياه الملوثة، فإنه يتوفر سبب اقتصادي لتغطية مكونات الهيكل من الصلب أو ألواح الدعائم الساندة من الخوازيق (Sheet Piling) لمثل هذه الإنشاءات قبل الإنشاء الحقيقي. أنودات التيار المسلط يمكن أن تكون من أي من الأنواع التي سبق الإشارة إليها، مع استخدام محولات التيار ذات التيار المتواصل (Constant current) حيث تتوفر ملوحة المياه. بسبب التغير في العوامل المتعددة التي تؤثر على تصميم الحماية الكاثودية لمثل هذه الإنشاءات، فإن تصميم النظام يتطلب القرار والتحكم الجيد. مخاطر الشرر الناتج عن الجهد عند ارتباط المنشأ المحمي بالأواني الغير محمية الحاملة للبتترول أو المنتجات البترولية يجب أن تؤخذ في الاعتبار.

دراسة بعض حالات الحماية الكاثودية للصلب في مياه بحر الشمال :

تنظم متطلبات الحماية الكاثودية لتوفير كثافة التيار الكافية لكل المكونات الغاطسة والمدفونة وذلك لمنع التآكل بدون الحماية الزائدة التي تؤدي إلى انخفاض حد الكلال أو الارهاق (Fatigue Limit).

### \* متطلبات الجهد :

في مياه البحر النظيفة المهواة وعند درجة حرارة حوالي 25م، تكون الحماية المقبولة عموماً عند جهد لمنطقة التلامس ما بين الصلب/ ماء البحر أكبر من 0.8 فولت مقاسه لقطب قياسى (الفضة / كلوريد الفضة)، وذلك رغم أن القيم ما بين -0.78 فولت إلى -0.91 فولت مقاسة بقطب فضة/ كلوريد فضة قد وردت في بعض المصادر العملية. في الظروف اللاهوائية كما في حالة التجهيزات المغلفة أو في الطمي ، فإن القيم أعلا من -0.1 فولت تكون مقبولة عموماً. التصميم الحذر يجب أن يحدد أقصى سلبية للجهود السطحية ما بين الصلب وماء البحر إلى -1.1 فولت مقابل

قطب (Ag / Ag Cl) إلا أن بعض نظم التيار المسلط ينتج عنها جهد مقاس ظاهر وصل حد السلبية له إلى -1.3 فولت مقابل قطب الفضة/كلوريد الفضة بدون حدوث تلف. كذلك توجد بيانات متضاربة حول تأثيرات درجات الحرارة وانسياب الحرارة على كل متطلبات الجهد للصلب/ ماء البحر للحماية وكذلك كثافات التيار المطلوبة للحصول على مستويات الحماية هذه.

### جدول (9/1) الجهود الموصى بها لحماية منصة

من الصلب ثابتة في مياه البحر

القطب القياسى (بالفولت)			حالة المعدن
Zinc	Ag/AgCl	Cu/CuSO <sub>4</sub>	
0.25+ + صفر	0.8- 1.05-	0.85- 1.1-	الصلب في مجال هوائي الحد الموجب الحد السالب
0.15+ + صفر	0.9- 1.05-	0.95- 1.1-	الصلب في مجال لا هوائي الحد الموجب الحد السالب
0.25 + 0.1 +	0.8- 0.9-	0.85- 1.0-	الصلب عالي القوة، حيث أقصى إجهاد شد 700 نيوتن على المليمتر المربع الحد الموجب الحد السالب

لقد أوصت جمعية التقسيم (Classification society) بالنسبة لمتطلبات جهد الصلب/الإليكتروليت، حيث تم تلخيصها في الجدول (9/1). ولكن يجب معرفة أن هذه اختيارية وأن كانت أفضل بيانات متاحة.

للحماية الكاملة لمنشأ من الصلب مثبت في البحر فإن كل المساحات أسفل منسوب المياه تتطلب الحماية بالجهد الصلب/الإليكتروليت المناسب خلال كل عمر الخدمة للمنشأ، وهذا يعنى الحصول على الجهود المناسبة عند كل الأماكن على المنشأ حتى في ظروف العواصف في السنين الأخيرة للعمر التصميمي.

منسوب متطلبات التيار: للحصول على هذه المستويات من الجهد الصلب/الإليكتروليت فإنه يلزم التوزيع الجيد لسريان التيار من أنودات الحماية الكاثودية على كل المساحات للمنشأ. هذه المتطلبات للتوزيع الجيد توجد سواء كانت الأنودات ضخمة أو صغيرة، سواء كانت أنودات تتآكل (أنودات ضحية) أو أنودات مثبتة على المنشأ أو أنودات التيار المسلط بالتحكم عن بعد. كذلك فإن توفير التيار بالتوزيع الجيد يتطلب القدرة على تحقيق متطلبات كثافة التيار المختلفة في مساحات مختلفة للمنشأ ومتطلبات التيار من يوم إلى آخر.

كثافة التيار المطلوبة للحصول على جهد معين للصلب/ مياه البحر يتحدد عموماً طبقاً لتوفر الأكسجين عند سطح التلامس ما بين الصلب/ مياه البحر. قبل تكون الطبقة الناتجة عن نمو وتكاثر الكائنات البحرية، فإن العامل الحاسم قد يكون سرعة ماء البحر وتركيز الأكسجين. يمكن استنتاج متطلبات كثافة التيار نظرياً على الأقل وقبل تكون الطبقة. الجدول (9/2) يبين كثافات التيار المحسوبة من معدلات التآكل باستخدام قانون فارادى، عند سرعات لمياه البحر مقابل المنشأ الصلب، الجدول (9/3) يوضح تأثيرات مختلف تركيزات الأكسجين المستخلص من الجدول (9/2).



جدول (9/2) كثافات التيار المحسوبة للحماية الكاثودية للصلب في ماء البحر  
(في بحر الشمال الأكسجين 9 جزء في المليون عند 57°م)

كثافة التيار المكافئة (فارادي) مليامبير/متر مربع	معدل التآكل مليمتر/العام	السرعة الطولية متر/الثانية
102	0.12	صفر
118	0.138	0.3
123	0.144	0.4
133	0.156	0.6
153	0.180	1
205	0.24	2
307	0.36	4

جدول (9/3) كثافات التيار المحسوبة للحماية الكاثودية للصلب في ماء البحر

معدل التآكل مقيم ككثافة تيار (فارادي) (مليامبير/المتر المربع) عند تركيز أكسجين					السرعة الطولية متر/الثانية
10 جزء في المليون	9 جزء في المليون	8 جزء في المليون	7 جزء في المليون	6 جزء في المليون	
114	102	91	80	68	صفر
131	118	105	91	78	0.3
136	123	109	95	82	0.4
148	133	118	103	89	0.6
170	153	136	119	102	1
227	205	182	159	136	2
341	307	273	239	205	4

نتيجة الحماية الكاثودية فإن الرقم الهيدروجيني (pH) يرتفع عند تلامس الصلب مع الماء والذي يسبب تكون طبقة من الترسبات الجيرية التي تتكون أساساً من (كربونات الكالسيوم وإيدروكسيد المغنسيوم). هذه الطبقات تحد من تسرب الأكسجين إلى السطح وتقلل من متطلبات كثافة التيار كثيراً. توجد شواهد أن هذه الطبقات يصعب تكوينها في المناطق الباردة كما أن هناك مجالات لأقصى كثافة تيار التي عندها تتكون الطبقة المؤثرة.

إمكانيات توفر قياسات ميدانية لمتطلبات كثافة التيار بين الصلب/ ماء البحر والتي يعتمد عليها تعتبر محدودة. بعض الجهات تبين المستويات العامة لكثافة التيار المطلوبة لمختلف المناطق الجغرافية كما في الجدول (9/4) حيث أنها أفضل المستويات المتاحة وإن كان يلزم مراجعتها قبل الاستخدام في مشروع معين.

لتوفير الحماية الكاملة لمنشأ ثابت من الصلب بعيداً عن الشاطئ فإن كل المساحات أسفل منسوب المياه يلزم لها قيمة جهد الصلب/ الإليكتروليت لكل أو لمعظم عمر الاستخدام للمنشأ. وهذا لا يعنى الحصول على قيم جيدة عند نقط رصد قليلة وثابتة، وكذلك لا يعنى قيم جهد جيدة عند كل النقط على المباحث السنوية بكل المعدة العاملة لأفضل كفاءة مع ظروف بيئة طبيعية. ذلك يعنى توفير الجهود المناسبة عند كل الأماكن على المنشأ حتى في ظروف العواصف في السنين الأخيرة للتصميم.

جدول (9/4) أدنى كثافة تصميمية لحماية منصات الصلب المثبت في البحر

كثافة التيار مليأمبير/المتر المربع			المكان
أولية	متوسطة	نهائية	
50	40	30	خطوط مواسير مدفونة.
180	140	120	مواسير صاعدة بها مياه بحر متدفقة.
120	90	80	مواسير صاعدة بها مياه بحر راكدة.
25	20	15	الطين المالح

بالنسبة لدرجات الحرارة ما بين 25م، 100م تزداد كثافة التيار 1 مليأمبير لكل درجة حرارة واحدة.

#### مستوى التيار المطلوب :

للحصول على هذه المستويات لجهد الصلب/ الإليكتروليت فإنه يلزم التوزيع الجيد للتيار من أنودات الحماية الكاثودية على كل المساحات المنشأ. كذلك فإن توفير التيار بالتوزيع الجيد يلزم أن يكون قادراً على توفير مختلف كثافات التيار في المساحات المختلفة للمنشأ ومختلف متطلبات التيار من يوم إلى آخر.

تحدد احتياجات كثافة التيار للحصول على جهد معين للصلب/ ماء البحر طبقاً لتوفير الأكسجين في سطح التلامس للصلب/ ماء البحر. قبل تكون الطبقة الجيرية والنمو البيولوجي للحشف البحري فإن العوامل السائدة ربما تكون سرعة مياه البحر وتركيز الأكسجين. يمكن استنتاج متطلبات كثافة التيار نظرياً على الأقل قبل الاستقطاب. وتكون الطبقات.

**الموجز:** لتلخيص النظام المطلوب للحماية الكاثودية المستخدمة لمنشأ ثابت في البحر هو بحماية كل المكونات من الصلب أسفل سطح الماء خلال أيام من وضع المنشأ في البحر وخلال العمر التصميمي. جهود الصلب/ الإليكتروليت المطلوبة ستختلف على المنشأ وكذلك ستكون كثافة التيار المطلوبة لاستمرارها. كذلك فإن كثافة التيار المطلوبة في أى مكان معين للحصول على جهد معين للصلب/ الإليكتروليت ستغير كذلك مع الوقت مع حدوث الاستقطاب والتغيرات البيئية التى تعدل من درجة هذا الاستقطاب. متطلبات الحماية الكاثودية لمنشأ ثابت في مياه البحر تعتبر متغيرة، كذلك فإن تصميم الحماية الكاثودية يجب أن يعكس هذا لى يحقق النجاح فى الهدف نحو منع التلف للمنشأ بفعل التآكل.

### المنشأ : (The Structure)

أنه ليس من السهل وصف منشأ نموذجي، فقد وصفت المنصات فى مياه البحر عند أعماق مختلفة ما بين عدة أمتار إلى عدة مئات من الأمتار فى بيئات تتراوح ما بين أدنى رياح وأمواج إلى أماكن حيث هذه العوامل مؤثرة فى تصميم المنشأ.

بعض الأماكن يوجد بها نوع كبير للحشف البحري المتوقع ، وبعضها لمخاطر الزلازل وبعضها معرض لأحمال الثلج فوق منسوب الماء. كذلك فإن بعض المنصات تجمع ما بين الإيواء ، الحفر ، الإنتاج والضخ ، وبعضها مصمم لواحد أو أكثر من هذه المهام. معظم المنصات عبارة عن إطارات فراغية من مواسير الصلب الملحومة والمثبتة فى قاع البحر بالخوازيق ، وإن كان هناك منصات جانبية كبيرة من الخرسانة المسلحة حيث تحميل قاع البحر لا يحتاج لعمل خوازيق.

فى الحقول حيث المياه العميقة توجد منصات طافية مربوطة. ولكن الشكل الغالب للمنصات فى ماء البحر فى مجال البترول ، هما نوعين الأول هو رصيف الإنتاج بأربعة أرجل وتجهيزات الضخ بعمق 30 متر فى الماء والثانى رصيف بأربعة أرجل بالإيواء والحفر ، والإنتاج والضخ بعمق حتى 110 متر فى الماء - تصميم الحماية الكاثودية لهذه النوعية من المنصات يختلف إلى حد ما عن المنشآت الأخرى فى البحر.

الشكل (9/2) ، (9/3) يبين منصة المياه الضحلة ، المياه العميقة.

الجدول (9/5) يبين بعض الأبعاد المرتبطة بنظام الحماية الكاثودية

جدول (9/5) مفهوم تفصيل منصة المياه الضحلة، المياه العميقة

المعيار	القيمة لمنصات المياه الضحلة	القيمة لمنصات المياه العميقة
* عمق الماء	3- متر	110 متر
* عدد الأرجل	4	4
* عدد الأطر أو الهياكل الأفقية أسفل منسوب البحر	1	5
* إجمالى المساحة السطحية المغمورة	1500 متر مربع	63000 متر مربع
* إجمالى مساحة سطح الخازوق فى الطفلة	3500 متر مربع	6000 متر مربع
* العمر التصميمى	40 سنة	35 سنة

تداخل الحماية الكاثودية :

التآكل أو التحلل الكهروكيميائى لمنشآت الصلب المدفونة أو المغمورة بفعل التيارات الشاردة من السكك الحديدية التى تعمل بالتيار المستمر أو من نظم الحماية الكاثودية تم تناولها فى هذا الفصل. يجب أن يقوم مهندس التآكل بتصميم إنشاءات الحماية الكاثودية بالطريقة التى توفر أدنى تداخل مع المنشآت الأخرى، كذلك يقوم بتأكيد ما إذا كان التداخل موجود وفى حالة حدوث ذلك فإن عليه عمل إجراءات إبعاده. وهذا يتطلب جهد واعى وتعاون بين العناصر المختلفة المتعلقة بالموضوع.



الكشف عن وإزالة التداخل بإنشاءات الحماية الكاثودية يمكن أن يكون معقد، ولكن النتيجة النهائية المطلوبة هي ببساطة إزالة أى تيار مستمر تم التقاطه بالمنشأ الغريب والعودة إلى الأرض خلال ممر معدنى. ممر العودة هذا عادة يكون سلك توصيل إلى المنشأ المحمى أو إلى الطرف السالبة لمعدل التيار فى حالة وجوده قريباً.

أحياناً يكون من الممكن استخدام أنود جلفنى أو أكثر فى منطقة صرف التيار الشارد (والتي ليست بالضرورة تقع عند نقطة التقاطع أو قرب المنشأين) على المنشأ الغير محمى. يكون هذا مجدى فقط عندما يكون حجم التيار اللازم صرفه صغير بما يمكن من تداوله بأنودات جلفنية.

القاعدة المستخدمة على نطاق واسع لتعيين ما إذا كان التداخل تم تخفيفه على منشأ غريب هو استعادة جهد المنشأ / الإليكتروليت عند مكان صرف التيار إلى قيمته الأصلية. أى إلى مستواه قبل نشاط نظام الحماية الكاثودية.

التداخل مع قياسونات البئر بواسطة الإنشاءات الكاثودية القريبة تعتبر مشكلة أكبر من العادى نظراً لأن كلاً من الكشف والتخفيف كلاهما صعب. مهندس التآكل يجب أن يستخدم قياسات السطح، بالعودة إلى شكل جهد القيسون وذلك عند الشك فى أى حالة نحو احتمال التداخل مع قيسون بئر مجاور. لحسن الحظ، الاتجاه نحو الاستخدام الميدانى للحماية الكاثودية لقيسونات البئر، مع توازن جهود كل بئر، خفض مشكلة التداخل من بئر إلى بئر. لقد وجدت مشكلة أكبر بالتداخل مع نظام الحماية الكاثودية لخطوط المواسير على قياسونات البئر.



# **الفصل العاشر**

**الحماية الكاثودية  
للسفن والمعدات الشبه غاطسة**







## مقدمة :

### الحماية الكاثودية للسفن والمعدات الشبه غاطسة

#### **Ships and Semisubmersibles**

الحماية الكاثودية طريقة حماية من التآكل مقاسة للصلب في مياه البحر. بالنسبة للسفن والمعدات والأجهزة الشبه غاطسة فإنه يستخدم كلاً من التيار التأثيرى والآنودات الضحية للحماية. الحماية الكاثودية فقط يمكن أن تحمي أسطح الصلب المعرضة لمياه البحر شريطة أن يتم تحويل جهد الصلب إلى -0.8 فولت مقابل قطب الفضة / كلوريد الفضة (أو 0.23 فولت مقابل الزنك القياسى).

سيتم مناقشة الحماية الخارجية للسفن والوحدات المتحركة بعيداً عن الشاطئ من خلال قسمين الأول بخصوص الحماية الخارجية للسفن والثانى الأجهزة والمعدات الشبه غاطسة. السبب في ذلك هو أن استخدام نظم الطلاء مع الحماية الكاثودية يختلف بالنسبة لهذين القسمين. الصلب الغير مغطى في مياه البحر الساكنة يتطلب كثافة تيار من 100 إلى 150 ملياًمبير/ المتر المربع لحمايته، حيث تزداد مع زيادة حركة المياه وفي المياه الأكثر برودة. طبقة الطلاء على سطح الصلب ستعمل كحائل ما بين الكاثود والإليكتروليت وبذا يقل التيار المطلوب للحماية. في الظروف العادية متوسط كثافة التيار سوف تكون ما بين 1 إلى 30 ملياًمبير/المتر المربع.

الحماية الكاثودية بالتيار التأثيرى أو بالآنود الضحية يمكن أن يسبب تأثيرات ضاره على نظم الطلاء. وسيتم مناقشة هذه التأثيرات مع التركيز على السفن والأجهزة والمعدات البعيدة عن الشاطئ (في البحر) .

#### 1- السفن:

أ- الحماية الكاثودية يمكن أن توقف كل التآكل على جسم السفينة وبذا يقلل من الخشونة الدائمة. ولكن جسم السفينة للناعم يصبح عامل هام أكثر وأكثر حيث يجب التعامل مع الخشونة المؤقتة.

يستخدم الطلاء للحماية ضد التآكل والحماية ضد الملوثات والأوساخ (Fouling) . زيادة الملوثات والأوساخ ستزيد من خشونة الجسم بدرجة كبيرة عندئذ يكون الطلاء المقاوم للتآكل ضروري. باستخدام الطلاء كطريقة وحيدة للحماية من التآكل، فإن الثقوب والتلف في الطلاء.. الخ ستسمح بزيادة الخشونة الدائمة للسطح بالتآكل. لذا فإن طبقة الطلاء ونظام الحماية الكاثودية سيكمل كل منهما الآخر، حيث يقلل الطلاء من التيار المطلوب لحماية الصلب والحماية الكاثودية تمنع التآكل عند المناطق التالفة أو الضعيفة في طبقة الطلاء.

### ب- أهمية الخشونة :

معظم السفن الضخمة ذات سرعة خدمة 15 - 16 عقدة، تحتاج إلى 80% من قوتها لمقاومة احتكاك السطح. كقاعدة عامة عند زيادة الخشونة 10 ميكرومتر فإن الاحتكاك السطحي (Surface Friction) يزداد بنسبة 1%. بالنسبة لتكاليف الوقود الحالية فإنه يكون من المهم المحافظة على الخشونة السطحية عند أدنى مستوى.

يمكن تقسيم الخشونة السطحية إلى الخشونة الدائمة (Permenant) والخشونة المؤقتة (Temporarey) . الخشونة المؤقتة تكون بسبب فعل ترسيب الملوثات بين الأوقات في الحوض الجاف (Dry Dock) . طبقاً للمعلومات المتاحة حالياً عن البويات المضادة لترسيب الملوثات (ذات التلميع الذاتي وإعادة التنشيط) فإنه يمكن خفضها إلى أدنى حد. أما الخشونة الدائمة فتكون بسبب التآكل. تلف الطلاء، الشروخ والطلاء الزائد للملوثات العضوية المترسبة (Fouling Drganisms).

القياسات السابقة أظهرت أنه بدون حماية كاثودية وأن كل الخشونة الدائمة ستزداد بحوالى 125 ميكرومتر فى العام حتى فى حالة الدخول فى الحوض الجاف سنوياً.

قياسات تالية أظهرت أنه بنظام الحماية الكاثودية ومختلف أنواع البويات فإن متوسط الزيادة فى الخشونة انخفض إلى 25 - 30 ميكرومتر فى العام. القياسات الأخيرة كانت لعمر يزيد عن 6 سنوات. حالياً توجد أسباب نحو تحسن عملية التصميم للحماية الكاثودية كما أن العلاقة التبادلية بين الطلاء والحماية الكاثودية يتم حالياً مراعاتها بطريقة أفضل .

طبقاً لذلك فإنه يمكن الاعتقاد أنه بالنسبة للبناء الحديث للسفن) فإن الخشونة السطحية ستخفض بنسبة 20 ميكرومتر في العام . من الواضح أنه يجب التأكيد على تصميم كل من الحماية الكاثودية والربط ما بين الحماية الكاثودية والطلاء. التصميم الغير جيد للحماية الكاثودية ، أو في حالة توقف عمل التيار التآثري، سيعمل ذلك على زيادة الخشونة، كذلك نفس الشيء بالنسبة للطلاء الغير مناسب للاستخدام مع الحماية الكاثودية.

### ج- تصميم الحماية الكاثودية ، الأنودات الضحية:

لقد تم اكتساب خبرة نظم الحماية الكاثودية الخارجية من ملاك السفن الإنجليزية والنرويجية. الجدول (10/1) يوضح المعلومات المكتسبة من ملاك السفن، حيث تبدو الزيادة في استخدام التيار التآثري. كما لوحظ أن 75% من أنودات الضحية المستخدمة كانت أنودات الزنك، 25% أنودات الألومنيوم. السبب الرئيسي في ذلك هو أن أنودات الألومنيوم استخدمت للسفن الجديدة، أنودات الزنك للسفن القديمة، إلا أن الألومنيوم سوف يظل هو الأنود المفضل لقلة تكلفته عن الزنك والتي تصل إلى النصف تقريباً.

جدول (10/1) نسبة السفن بنظم الحماية الكاثودية المختلفة.

	بالتيار التآثري	بالأنودات الضحية	مع أرضى لجزع جسم السفينة
إنجلترا عام 1969	5	95	21.5
النرويج عام 1972	16	84	32.5

عادة يتم تصميم إنشاءات الأنود الضحية لتوفير الحماية لمدة من 2 - 3 عام ما بين دخول السفينة في الحوض الجاف (Dry Dockings) . عدد الأنودات المستخدمة يتوقف على المعدل المتوقع لتلف الطلاء الناتج عن كثافة التيار المقدر، والتي كانت 20 مليأمبير/المتر المربع حيث أعطت كثافة تيار مرتفعة جداً مع نظام للطلاء في ذلك الوقت. حالياً كثافة التيار المناسبة لكل السفن العابرة للمحيطات هي 10 مليأمبير/المتر المربع مع استخدام الطلاء المناسب.

لقد لوحظ أنه بالنسبة للسفن الصغيرة مثل سفن الإمداد فإن كثافات التيار 30 ملياًمبير على المتر المربع أعطت حماية جيدة بين فترات الحوض الجاف، والسبب في ذلك يرجع أساساً إلى احتمالات التلف الميكانيكى.

وجد أن معظم السفن بالآنودات الضحية تعاني من الحماية الزائدة فى الفترة التالية مباشرة بعد الحوض الجاف، أى أن الجهد أكثر سلباً عن المطلوب للحماية ومع تلف الطلاء ببطيء خلال الاستخدام فإن الآنودات استهلكت وأصبحت السفن أقل حماية قبل فترة الحوض الجاف التالية. وهذا كان أحد الأسباب نحو تغيير كثافة التيار إلى قيمة أقل، حيث لوحظ أن زيادة الاستقطاب قد تحدث التلف لنظام الطلاء. يمكن الاستفادة من هذه الملاحظة حالياً. حيث يمكن الحماية الزائدة بالآنودات الضحية للسفينة عند طلائها حديثاً ثم يون الجهد أقل سلباً عن اللازم قبل الدخول التالى فى الحوض الجاف. بناء على هذا يمكن تبني هذه النظرية. نظراً لزيادة أهمية الخشونة فإنه سوف يتم اللجوء إلى نظام طلاء أفضل والذي لا يحقق فقط الحماية من التآكل أو منع التراكم البيولوجى ولكن يعمل كذلك متوافقاً مع نظام الحماية الكاثودية. عندئذ فإن الحماية الزائدة إلى حد ما سوف لا تسبب أى تلف للطلاء، حيث يكون من المهم المحافظة على جسم السفينة من التآكل من المحتمل زيادة كثافة التيار ثانياً لأغراض الأمان واستهلاك الوقود.

د- تصميم الحماية الكاثودية بالتيار التأثيرى :

### C P design, Impressed Current

النظم الحالية لاستخدام الحماية الكاثودية بالتيار التأثيرى لجسم السفينة مبنية على أنودات سبائك التيتانيوم - البلاتين (Platinized - Titanium) وبنسبة أقل النيوبيوم - البلاتين أو باستخدام سبائك الرصاص - الفضة. وهذه كلها تعتبر أنودات خاملة، أى أن استهلاكها أقل ما يمكن عند استخدامها بأمان.

بالنسبة للسفن يوجد بصفة عامة نوعين من أنودات التيار التأثيرى، أحدهما هو سبيكة الرصاص الفضة والآخر هو سبيكة قضيب البلاتين. هذا النوع يوفر أنود طويل المظهر والذي يمكن أن يعطى خرج مرتفع نسبياً بالأمبيرات مقارنة بسطحه المعرض. السلبات



هى أن الأنودات يتم تثبيتها بحيث تمتد خارج جسم السفينة إلى حد ما وهذا قد يسبب التلف بفعل المواد الطافية والسلاسل والأسلاك.. الخ. النوع الآخر هو أنود التيتانيوم - البلاتين فى شكل القرص 0 أو النوبيوم) والذي يمكن تثبيته تماماً فى تجويف فى جسم السفينة وبذا لا يمكن إتلافه بسهولة.

الشكل (10/1) يوضح مخطط لنظام التيار التآثيرى للسفن محتوياً على جهاز تعديل التيار (Rectifier)، نظام للتحكم (Controller)، أقطاب قياسية (Reference Electrodes)، أنودات، سدود الإنضاب (Coffer Damps)، والأرضى إلى الجزء الرئيسى لجسم السفينة (Earthing To the shaft). كل أجزاء النظام هامة للحصول على أداء جيد لمدة عشرة سنوات تقريباً بدون صيانة. العامل الآخر الهام هو حافظة الأنود أو غلاف الأنود (Anode shield) أى المادة العازلة المجاورة للأنود مصممة بحيث يكون الانخفاض فى الجهد عبر غلاف الأنود كبيراً بحيث لا يحدث أى تلف للطلاء الخارجى بفعل التيار التآثيرى.

عدم الانتباه لأهمية العوامل التى ذكرت نتج عنه فشل فى نظم الحماية الكاثودية فى الأيام الأولى للنظام الكهربى والمعدل كان السبب فى معظم المشاكل بما أساء لسمعة التيار التآثيرى، وإن كان تم التغلب على معظم هذه المشاكل، وإن كان ما زال بعضها قائماً. من بين مصادر المشاكل كان حافظة الأنود، وقد أثبتت الخبرة أن استخدام الإيبوكسى الخالى من المذيب المستخدم على السطح اللزيف والذي تم إعداده بالترميل مع إطار ربط جيد فى منيم ملائم للأنود. ولذلك فإن الأنودات فى شكل القرص تتميز عن الأنواع الأخرى عند استخدامها فى السفن. أحد أهم الإيجابيات لنظام التيار التآثيرى نسبة إلى الأنود الضحية هو أنه يمكن تصميمه لإعطاء للتيار المطلوب للحماية فى أى وقت. ولذلك فبسبب التحكم الآلى بالأقطاب القياسية فإنه لا نرى الصورة كما فى حالة الأنودات الضحية أى الجهد المنخفض السالب بعد الحوض الجاف، التغيرات البطيئة إلى الحماية الأقل. نظام التيار التآثيرى يحافظ على جهد الحماية الكافى حتى فى حالة ملاحظة التلف الشديد فى الطلاء. السبب فى ذلك هو أن نظام التيار التآثيرى يصمم للإمداد بثلاث أضعاف التيار المصمم لنظام أنودات الضحية.

لقد أثبتت الأبحاث أن نظم التيار التآثيرى لا تسبب زيادة فى تلف طبقة الطلاء مقارنة بالأنودات الضحية. كما يبد أنه من المهم اعتبارات طبقة التغطية بالطلاء والحماية الكاثودية كلاهما عامل حماية مكمل للآخر. من المحتمل أن الجهد الثابت الناتج بالتيار التآثيرى أن يكون العامل الذى يؤخذ فى الاعتبار نحو تأثير الحماية الكاثودية على طبقة الطلاء. تكون القلوبات، وتصاعد الهيدروجين، التناضح الإليكترونى (Electro - Osmosis) تعتبر العوامل التى يمكن أن تسبب تلف طبقة الطلاء.

يجب مراعاة الاهتمام نحو العلاقة بين الحماية الكاثودية وطبقات التغطية بالطلاء أولاً، بدن السفن (Ships Hulls) المعالج بطبقة بطانة من الزنك الغنى بالإيبوكسى والكولتار ايبوكسى أو بطانة الفنيل سوف يحافظ على الجهد من + 100 إلى + 50 مليفولت مقابل قطب الزنك القياسى لمدى طويلة. فى الحقيقة فإنه ليس جهد الصلب الذى تم قياسه ولكنه جهد الزنك فى طبقة الطلاء عالية مركبات التلوين (Highly pigmented paints). ثانياً فى نظام الحماية الكاثودية بأنودات التيار التآثيرى، فإن بعض التيار سوف يمر دائماً من الأنودات حتى فى حالة قراءة التحكم الآلى أن الحماية جيدة، ولكن العيوب الصغيرة (أكبر من الثقوب) المحلية فى طبقة الطلاء سوف لا تؤثر على الجهد الكلى، وخاصة فى حالة وجود هذه العيوب بعيدة عن الأقطاب القياسية، فإنه لا يتم تسجيل أى تغير فى الجهد بواسطة التحكم الآلى. هذا يمكن أن ينتج عنه تآكل موضعى على تلك المساحة الصغيرة من التلغيات. الحل لهذه المشكلة يمكن بتغيير جهد الحماية بواسطة التحكم من 250 مليفولت (250mV) إلى 50 مليفولت مقابل قطب الزنك القياسى بحيث يمكن تنشيط جهاز تعديل التيار (Rectifier) حتى فى حالة تسجيل الجهود المنخفضة.

فى كثير من الحالات حتى فى حالة السفن الضخمة نسبياً، يستخدم التيار التآثيرى فى منطقة مؤخرة السفينة فقط، وإن كان لا يوصى بذلك لأسباب كثيرة. أحدهم هو عامل الأمان، ففى حالة سفينة حمولة 30000 طن والتى تزور موانئ كثيرة بماء عذب أو مالح قليلاً (Brakish). هذا سيسبب انتفاخ الطلاء ثم الجفاف فيما بعد ثم تقشر الطلاء أخيراً. الحماية فقط للمؤخرة لا تكون قادرة لتلبية احتياجات التيار الزائدة. توجد أمثلة كثيرة

للسفن تمت لها الحماية السفلية وخاصة في منطقة التقوس والإخفاء (Bow Area)، وهذا ليس إلا تكاليف إضافية صغيرة لتحقيق الحماية الكاملة لكل بدن السفينة بعمل وإنشاء نظامين منفصلين أحدهم في مساحة الانحناء والآخر في منطقة المؤخرة.

يبدو أن نظام الحماية الكاثودية بالتيار التأثري سيلقى قبولا كثيراً ذلك بسبب ارتفاع تكلفة الحماية بالأنودات الضحية.

### 3- الشبه غاطسة : (Semi – Submercibles)

أ- معدات الحفر (Rigs) الشبه غاطسة يلزم لها الحماية الكاثودية، الحماية من التآكل لمثل هذا الجسم تختلف عن ذلك للسفن، حيث لا توجد حاجة للسطح الناعم أو المنع الشديد لتراكم الملوثات العضوية. تقريباً كل معدة حفر تكون مغطاة بطبقة طلاء إلى حد ما، حيث معظمها يكون الطلاء إلى أسفل منسوب سطح الماء أثناء التجهيز.

عموماً فقد وجد أن كثافة التيار زيادة عن 130 ملي أمبير/ المتر المربع يتم استخدامها على الصلب الغير مغطى لتوفير الحماية الكاثودية، كما أنه في حالة الحصول على الاستقطاب الأولى بسرعة فإن الاحتياجات من كثافة التيار يمكن أن تنخفض مع الوقت. لذلك فقد اقترح تبني ثلاث كثافات تيار وهي الأولية والنهائية والمتوسطة. ولكن بالنسبة للشبه غاطسات والتي تتحرك أحياناً من مكان إلى آخر فإن القيمة المتوسطة يمكن أن تكون مرتفعة مثل قيمة كثافة التيار المتوسط.

تم استخدام معيار آخر له أهمية وهو معامل الاستخدام والذي يعرف بأنه كمية مادة الأنود المستهلكة (في المائة) عندما تكون مادة الأنود المتبقية غير قادرة على إعطاء خرج التيار الضروري للحماية. أقصى قيم مقبولة لمعامل الاستخدام هي:

90% للأنودات الرفيعة والهزيلة.

85% للأشكال الأخرى.

معدات الحفر الخمسة عشر للموضحة في الشكل (10/2) والتي تم حمايتها كاثودياً. الشكل يوضح كثافة التيار وعلاقتها بمساحة السطح المغطى بطبقة طلاء ويمثل فقد دقيق للأنود لمدة لا تقل عن 4 سنوات.

من الخبرة يمكن اعتبار الحاجة إلى كثافتين للتيار هي :

- كثافة تيار متوسط لحساب الوزن .
  - رقم لكثافة التيار الأولية لحساب طاقة التيار الضرورية.
- متوسط كثافة التيار هو في المجال 120 مليأمبير على المتر المربع للصلب الغير مغطى و 40 مليأمبير /المتر المربع للصلب المغطى بطبقة طلاء. هذه البيانات تشير إلى عمر خمسة سنوات.

كثافة التيار الأولية تعرف بأنها كثافة التيار اللازمة للاستقطاب، ومن المحتمل أن تكون في المجال من 120 مليأمبير/ المتر المربع للصلب الغير مغطى كما يجب معرفة أن طاقة التيار المقابلة يجب أن تكون متاحة خلال عمر النظام.

**ملاحظات عامة أخرى هي:**

- تزداد متطلبات كثافة التيار مع تغير الموقع من آن إلى آخر. لذلك فإن معدات الحفر سيكون معدل استهلاكها للأنود أكبر عن الوحدات الثانية.
- في فترة العواصف كان الاستقطاب حتى 20 مليفولت أقل سلباً عن فترة هدوء المناخ.

يتكون نظام الأنود الضحية على معدة الحفر الشبه غاطسة من حوالى 600 أنود. الأنودات تكون منتشرة بانتظام على المنشأ مع الاهتمام بالأنودات والوصلات. بعد بعض الوقت في البحر وجد أن بعض الأنودات تآكلت أكثر من المتوسط. وكان هذا بالنسبة للجانب الخارجى للأعمدة ومعدات الطفو وخاصة عند الانحناء والمؤخرة. كما وجد معدل عالى للاستهلاك قرب سلاسل الربط والحوامل (Bolsters) . لذلك فإنه بالنسبة لهذه المساحات يجب إعطائها الاهتمام الخاص عند تصميم نظام الحماية الكاثودية.

أثناء التعديل لتحسين وضع الأنودات أصبح تجنب وضع أنودات جديدة في القاع الطافى قاعدة أساسية لسببين وهما مشكلة الحوض الجاف للمعدة وصعوبة تعديل وضع



الآنودات فى القاع الطافى. لقد أظهرت القياسات أن الانخفاض فى الجهد ما بين جانب الطافى والقاع كان فقط 40 - 50 مليفولت. على هذا الأساس أصبح الآن الأداء العادى هو عدم إنشاء آنودات فى هذه المنطقة.

#### تعديل الآنودات : (Retrofitting of Anodes) (تثبيت الآنود).

القوة الميكانيكية للآنود وتجهيزات التثبيت ذات أهمية كبيرة لتأكيد أن المنشأ يظل ملتصق خلال العمر التصميمى. يجب ملاحظة النقاط الآتية:

- يجب أن يقاوم الآنود قوى الموج حتى سرعة المياه 10 متر فى الثانية.
  - احتمال سقوط أشياء ثقيلة من المنصة واصطدامها بالآنود.
  - الاهتمام نحو مشكلة احتمال رفع الآنود بعيداً عن سطح الصلب بسبب تراكم الترسبات الجيرية ونواتج التآكل فى منطقة الالتصاق بين الآنود والصلب.
- الطريقة العادية للحام الآنودات مع مستوى السطح هى بلحام ثلاث أجناب للقضيب المستوى البارز خلال الآنود إلى الصلب. لتجنب احتمال حدوث تشقق فى معدن الأساس من الصلب، فإنه من المفضل أن يكون اللحام مستمراً، حول كل ارتفاع للحام بنفس الطريقة كما فى حالة الآنود من نوع الصد البعيد عن الشاطئ. توجد مشكلة خاصة متعلقة بتعديل الآنودات أسفل خط الفارغ للسفينة (LLL - Light Load Line) للطريقة المناسبة هى باستخدام صندوق بينى طبيعى جاف (Dry Habitats). يصمم الصندوق خصيصاً لنوع الآنود ونوع المنشأ، يلزم غطاسين لحام مؤهلين. يتم ضبط وجه المينم قابل للضبط لأى انحناء. القوة اللازمة للضغط والعزل عن الماء حول اللحام الحقيقية يمكن أن تكون هيدروليكية، أو هوائية أو بالشد أو ببساطة قوة الطفو. بعد استخدام القوة يتم تفريغ الصندوق من الماء بدفع الهواء المضغوط إلى الغرفة عندئذ يمكن بدء اللحام. معدل لحام الآنودات بهذه الطريقة تحت الماء هو حوالى 30 آنود فى اليوم.

#### 4- تصميم جديد : (New Design)

بعد أن أظهرت المباحث والملاحظات وحسابات كثافة التيار اللازمة فإنه يمكن تقدير وزن الآنود باستخدام المخطط الخاص بذلك. وهذا يعنى بالنسبة للحفار أو أى معدة

متحركة في ماء البحر فإنه يستخدم كثافة تيار 120 مليأمبير/المتر المربع في حالة عدم وجود طبقة تغطية بالطلاء وفي حالة الطلاء الكامل تستخدم كثافة تيار 40 مليأمبير/المتر المربع. يجب ملاحظة أن ذلك هو الرقم المتوسط لاستهلاك الأنود خلال 4 سنوات خدمة.

حتى في حالة استخدام 120 مليأمبير/المتر المربع تقريباً للصلب الغير مغطى، فإن هناك حاجة لقيم أعلا لسرعة وتأمين الاستقطاب بعد أى تحرك للحفار. يتم تصميم نظام الحماية الكاثودية لتكون طاقة التيار 150 مليأمبير/المتر المربع. ذلك مع تصميم الحماية الكاثودية باستخدام 150 مليأمبير/ المتر المربع لطاقة التيار، 120 مليأمبير/المتر المربع لتقدير الوزن على المنشأ الغير مغطى بالطلاء.

لتأكيد توفر التيار الكافى، فإنه يتم حساب خرج الأنود الواحد. الطريقة العادية لحساب خرج التيار للأنود بالنسبة لأنود التثبيت السطحى هى بحساب المقاومة طبقاً لمعادلة موكى (McCoy).

$$R = \frac{0.315 \times P}{\sqrt{A}}$$

حيث :

$P$  = المقاومة النوعية (أوم متر)

$A$  = مساحة سطح الأنود المعرضة متر مربع

يمكن استنتاج أنه في حالة التصميم 120 مليأمبير/ المتر المربع وباستخدام معادلة موكى فإن طاقة خرج التيار للأنود تكون كافية لتوفير الاستقطاب السريع المعادل إلى 150 مليأمبير/ المتر المربع، وهذا يكون حقيقى عندما يقترب الأنود من الاستهلاك الكلى. الأنودات الضحية عادة يتم تصميمها لمدة 5 سنوات ، ولكن لارتفاع تكلفة تثبيتها فقد زاد الاهتمام نحو التيار التأثيرى للاستخدام فى المعدات الشبه غاطسه ، حيث يمكن تصميم نظام التيار التأثيرى لمدة 20 عام.

استخدمت أنواع متعددة من النظم وإن كان الاختلاف يتعلق بنوع الأنود، حيث استخدم كلاً من الأنود على شكل قرص البلاتينى (platinized) وأنود الرصاص -

الكبير في الخرج للأنود. ولكن أنودات للرصاص + الفضة لها كفاءة عالية ولكن معدل الاستهلاك العالي الغير عادى تم رصده بالإضافة إلى انخفاض القوة للميكانيكية. التصميم الحالى يشمل أنودات بلاتينية فى شكل قضيب طويل والتي يمكن أن تعطى 150 أمبير للأنود شريطة وجود الفولت المطلوب. عدد الأنودات المطلوب تثبيتها والخرج التصميمى هو من مدخلات التصميم كقاعدة يبنى التصميم على كثافات التيار الموجودة فى المباحث الميدانية التى سبق مناقشتها. ولكن يتم إدخال عامل أمان بنسبة 20% فى حالة فشل أى أنود فى العمل. فى هذا المجال يجب ملاحظة أنه عند التصميم فإن المساحة أسفل أعلا تحميل (HLL- High Load Line) والتي هى عادة كل أجزاء الجسم للطاقي (Pontoons) يتم اعتبارها صلب غير مغطى سواء كانت مغطاة بطبقة طلاء أو لا. السبب فى ذلك هو توقع تلف كبير فى طبقة الطلاء بعوامل ميكانيكية وأن هذه المساحة لا يمكن استمرارها مغطاة إلا فى حالة وضع المعدة فى الحوض الجاف.

التيار التأثيرى يتم التحكم فيه آلياً باستخدام الأنودات القياسية (Reference).

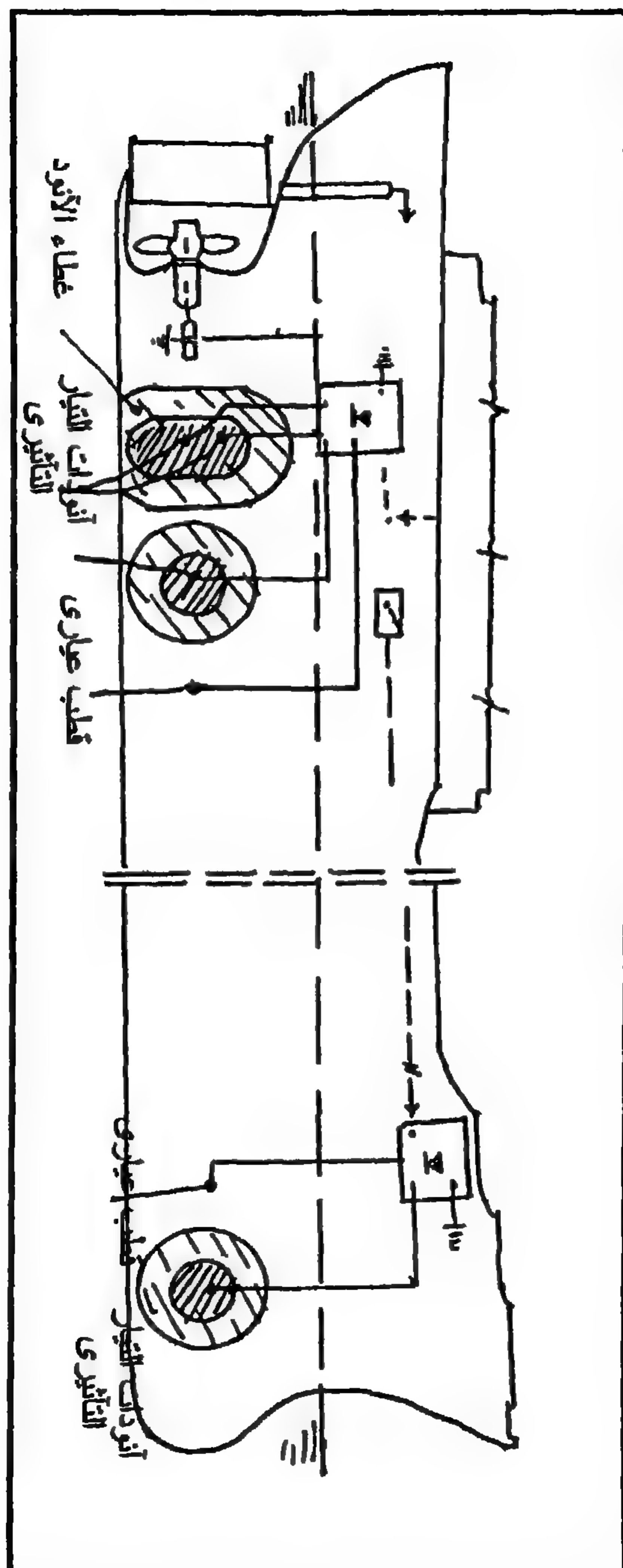
الأنودات القياسية تعمل جزئياً كذلك كنظام تحكم معطية معلومات عن مستوى الجهد فى المعدة. على عكس، متطلبات قياسات الجهد على معدات الحفر باستخدام الأنودات الضحية، فإنه لا تكون هناك حاجة لقياسات إضافية للألات باستخدام نظم التيار التأثيرى. هذا حسناً ذلك لأن القياسات الإضافية بواسطة الغطاسين لا يسمح بها إلا فى حالة فصل التيار والذي من الطبيعى أن يؤدي إلى قياسات غير صحيحة.

الخلاصة :

من المهم معرفة الآتى فقط :

نظام الحماية لجسم السفن الذى يتكون من كل من الحماية الكاثودية والطلاء أعطى نتائج حماية قريبة من نسبة 100% وذلك بالنسبة لقاع السفن. كذلك استخدام الحماية بالتيار التأثيرى الذى يوفر جسم ناعم للسفينة مع أقل تكاليف للصيانة.

الشبه غاطسه هى ما بين السفينة والمنشآت البحرية البعيدة عن الشاطئ وإن كانت الدراسات والأبحاث مازالت قائمة نحو التحسين فى نظم الحماية لهذه الإنشاءات.



شكل (10/1) إنشاءات نظام التيار التآثيرى على سفينة، وضع أنودات التيار التآثيرى والآنودات العيارية.



# **الفصل الحادى عشر**

**الحماية الكاثودية لمحطات  
الطاقة ونظم مياه التبريد**





### الحماية الكاثودية لمحطات الطاقة ونظم مياه التبريد :

1- سيتم تناول الحماية الكاثودية لمياه التبريد من البحر لمحطات توليد الطاقة، وينطبق هذا النظام على أى منشأة صناعية مستخدمة مياه البحر للتبريد. ومن المهم تتبع مسار مياه التبريد خلال محطة توليد الطاقة.

#### أ- مأخذ مياه التبريد :

مصافى المأخذ هى عادة من الصلب المطاوع أو من حديد الزهر وهى إما تكون مجلفنة بشكل كثيف أو مغطاة بطبقة حماية، وهى معرضة لتلف طبقة التغطية بفعل المواد الطافية. بوابات المأخذ تكون عادة من الصلب المطاوع أو الحديد الزهر وتوضع فى قنوات من الصلب المدرفل (Rolled) الموضوعة فى خرسانة منطعة المأخذ. التغطية تستخدم عادة هنا ولكنها تكون معرضة للتلف أثناء الاستخدام للبوابة وبفعل الأجسام الطافية والرمال فى الماء.

#### ب- معدة المصافى :

المصفاة الأسطوانية أو مصافى الشريط الدوارة هى أكبر المكونات فى الماء. للمصفاة الأسطوانية لها صرة (Hub) يشع منها قضبان من الصلب المطاوع المحاطة والمغطاة بشبكة من الصلب المقاوم أو المغطى أو المجلفن. كل التجهيز يدور وهو إما أن يكون مغموراً فى ماء البحر أو مغطى بمياه البحر المستخدمة للتنظيف لإزالة الأعشاب.

#### ج- مياه التبريد :

المكون الرئيسى لتدوير المياه هو طلمبة التدوير والتي تصنع عادة من الصلب العالى حيث الدافع من البرونز وعامود الإدارة من الصلب المقاوم. الطلمبة معرضة للسرعة العالية، للمياه المهواة والمضطربة. وهى حالة واضحة نحو اختيار المادة التى تتوافق ولكن اقتصادياً ذلك غير مجدى.

#### د - مواسير التغذية وملحقاتها :

مواسير التغذية والمحابس هى من مواد تقليدية وهى حالة نموذجية لاستخدام التغطية بالمواد العضوية ذات النوعية الجيدة، ولكن التنفيذ الضعيف للتغطية يمكن أن يؤدي إلى أخطاء وعيوب وظهور الثقوب فى الطلاء.

**هـ- صندوق ماء المكثف التريبتى : Turbine Condenser Water Box**

صندوق ماء المكثف التريبتى هو سلساً لوح أنابيب متخم من التحال من الأصغر  
اليحري (Admiralty Brass) مع يلقى الأجتال الخمسة للصندوق مصنوعة من الصلب  
المطالوع. لوح الأيتوب يكون متقياً ومحتوياً على عدة آلاف من الأنابيب ذات القطر 25  
مليمتر تقريبا، مصنوعة من سياتك التحال أو المصنوعة قريبا من التيتانيوم.

للتهاب مع هذا الخليط حيث معدل التدفق العالى نسبياً ، الاضطراب ، التهوية  
والتدرج فى درجة الحرارة من أحد تهاليات المكثف إلى التهال الأخرى. التغطية تؤدي  
إلى المهمة الأولى فى حالة تنقيتها جيداً ، إلا أنها يحتمل تعرضها التلف الحاد عند صيانة  
الوحدة وذلك لأنه ليس من المتبع إقامة سقالات داخل الصندوق فى ذلك الوقت.

**و- المبردات المساعدة : Auxiliary Coolers**

المبردات المساعدة المصاقي ... الخ هي كما فى الحالات السابقة ويحدث لها نفس  
مشاكل التآكل.

**ز- تبريد غرفة عمل المواسير :**

عمل مواسير التبريد المساعدة أكبر من 400 مليمتر القطر قد تحتوي على آلاف من  
الأقدام من المواسير فى أماكن يصعب الوصول إليها حيث يستحيل إصلاحها بدون حدوث  
مشاكل.

**ح- مخرج مياه التبريد :**

مساحات الصرف تشبه فى الإنشاء لمنطقة المأخذ وتحتوي على محابس قبل ... الخ.

**ط- خزانات حفظ الوقود : Oil storage Tanks**

بالنسبة لمحطة تخزين الوقود ، فإن القاع السفلى للخزانات هو مشكلة تآكل تقليدية.  
خط المواسير بين محطة التكرير وخزانات حفظ الوقود هي كذلك منطقة تآكل كذلك. هذا  
بالإضافة إلى خطوط مواسير التغذية المحلية.



## 2- التطبيق العملى للحماية الكاثودية :

### أ- مأخذ مياه التبريد :

فى منطقة مأخذ تدوير المياه يمكن حماية المصافى ذات الفتحات الكبيرة والمصافى ذات الفتحات الصغيرة بواسطة الأنودات الضحية سواء بتثبيتها بمسامير رباط (Bolted) أو باللحام. الاستبدال سهل نسبياً عند رفع المكونات من أماكنها. فى حالة المأخذ يوجد نقص فى كل من الأماكن المناسبة والمساحات لوضع أنودات التيار التأثيرى. هذا بالإضافة إلى أن طبيعة المنشأ تجعل من الاستمرار الكهربى بين المكونات المتجاورة غير مضمون.

بوابات المأخذ توضع عادة مواجهة لمساحة كبيرة من الماء. بالتصميم الجيد يمكن حماية عدة بوابات بواحد أو اثنين من الأنودات التى تعمل بالتيار التأثيرى البعيد والموضوعان على الحائط الخرسانى المواجه. يمكن استخدام الأنودات الضحية مثبتة على البوابات أو مجاورة لها ولكن الاستبدال يتطلب خدمة الغواصين على فترات منتظمة وبذا لا يكون اقتصادى. كما أن الأنودات الضحية المصممة لعمر المحطة ستكون ضخمة وتثبيتها يكون غير عملى.

### ب- معدات المصافى :

الجزء الأساسى فى عملية التصفية هو مصفاة الأسطوانة الدوارة. يمكن وضع أنودات التيار التأثيرى حول المنشأ الخرسانى المحيط بعيداً إلى حد ما عن أشغال الصلب. وهذا يجعلهم مثاليين للحماية بالتيار التأثيرى حتى أن المصافى بقطر 15 متر يمكن حمايتها بستة أنودات فقط. يعمل هذا المخطط فى حالة التوصيل الكهربى مكونات الصلب للمصفاة. لاكتمال الدائرة يكون من الضرورى تثبيت حلقة منزلة وترس فرشاة وهذه يجب تثبيتها خلال تجهيزة مانعة للمياه إلى محور الدوران. فى المصافى الدوارة يمكن تثبيت الأنودات على الهيكل وكذلك على المصفاة المحيطة. لتأكيد الاستمرارية يتم تثبيت أسطوانات دوارة من الصلب المقاوم بين المصفاة المتحركة وتجهيزة الدوران. تستخدم الأنودات الضحية كذلك لحماية هذين النوعين من المصافى. فى هذه الحالة يتم التوزيع المنتظم لعدد كبير من الأنودات الصغيرة نسبياً على كل المنشأ وبذا يمكن توفير حماية

كاثودية جيدة. ولكن كثيراً من صناعات المصافى لا يقبلوا مشكلة الوزن الناتجة عن إضافة الأنودات للمصفاة المتزنة. الاستبدال ضرورى كل ثلاث أو أربع سنوات وهذا سهل بالنسبة للمصفاة الدوارة ولكن فى حالة مصفاة القضبان فإن ذلك يتطلب ظروف الجفاف لعمل الاستبدال.

### ج- طلبات مياه التبريد :

طلبات التبريد الرئيسية فى محطات الطاقة الحديثة يمكن أن تكون إما من نوع الطرد المركزى أو المحورية، حيث الحزونى (Volute) يتكون من إما الحديد الزهر أو الصلب أو الخرسانة. فى كل الحالات فإن الجزء المعدنى من الغطاء والدافع يمكن حمايتهم بطريقة التيار التآثرى.

### د- مواسير التغذية :

كما فى حالة طلبات التبريد، فإن هذه المواسير يمكن أن يصل قطرها إلى 4 متر حيث كان يتم حمايتها أصلاً بأنودات الكابولى (Cantliver). فى حالة المواسير المغطاة جيداً حيث تدفق المياه منخفض نسبياً، فإن الأنودات الضخمة التى تتآكل ذات الطاقة الكافية يمكن أن تستمر حتى عمر الخدمة للمحطة، ولكنها عموماً لا تستخدم حيث أنها تسبب إعاقة كبيرة لتدفقات المياه.

### هـ- صناديق مياه مكثف التبريد :

أفضل توزيع للتيار هو الرباط ما بين التغطية الجيدة ذات النوعية العالية مع نظام التوزيع الأنودى الكابولى أو الإبقاء على بعد من الأنود من نوع قضيب التنشيف (Towel - Tail).

### و- المبردات المساعدة :

المبردات المساعدة الكثيرة والمختلفة أفضل حماية لها هى بواحد أو اثنين من أنودات الكابولى لكل فراغ مائى (Water Space). الأنودات ذات القضيب المستمر استخدمت فى الصناديق الضحلة ذات النهاية العائدة (Return End) والتى توجد فى بعض المبردات

والتي تكون معرضة لبعض الغرين أو الطمي. في بعض الحالات ، حيث الصناديق الضخمة وظروف التدفق المنخفضة فإن الأنودات الضحية مازالت مستخدمة.

مخرج مياه التبريد :

بوابات التوقف مع حفرة الحجز والخروج تشبه لتلك في منطقة المأخذ وهذه عادة يتم حمايتها بواسطة أنودات التيار التآثري التي توضع بعيدا.

### 3- المحول المعدل للتيار : Trans Former Rectifier

في نظام التيار التآثري لمحطة الطاقة يكون مصدر التيار المستمر هو المحول المعدل للتيار. مختلف أنواع هذا المحول المعدل للتيار متوفرة وذلك طبقاً للأداء المستخدم من أجله.

#### أ- التحكم اليدوي Manual Control :

المحول المعدل للتيار التقليدي يستخدم مع مستوى خرج للتيار المستمر الذي يتم التحكم فيه بواسطة مفاتيح دوارة (Rotary Tapping Switches). وهو مزود بفولتميتر وأميتر لقياس الخرج الإجمالي. التيار المستمر من قطاع معدل التيار يتم تغذيته على لوحة توزيع مجمعة حيث منها يتم التوزيع إلى الأنودات. كل دائرة أنود تحتوي على مصهر (Fuse)، محول العداد (Meter Shunt) ومقاوم متغير. لوحة التحكم (Control Panel) مزودة بعداد قياس إضافي ومفتاح اختيار دوار (Rotary selector switch) لتمكين القياس لتيار الأنود الواحد. لتوفير الوقت نحو تسجيل الجهود على المحطة ، يكون من الطبيعي عمل التوصيل لكل قطب قياسي على لوحة التحكم ليتمكن رصداهم بواسطة مليفولتميتر مثبت لا يخطئ (High- Impedance Millivoltmeter).

ب- التحكم الآلي المقوم الترانستوري أو الموصل الوسيطى يعمل كجزء رئيسى من مضخم مغناطيسى :

#### (Automatic control – thyristor or transducer)

هنا فإن القوم الترانزستوري أو الموصل الوسيط الذى يعمل كجزء رئيسى من مضخم مغناطيسى يستخدم ليحد من خرج الفولت المرسل إلى لوحة التحكم الأنودى

وبالتالى للأنودات. وحدة التحكم خلال المحول المعدل للتيار توضع عند مستوى مسبق تحديد يكافئ لكل الجهد المطلوب والجهود القادمة من أقطاب الإحساس (Sensing Electrode) من الزنك أو الفضة/كلوريد الفضة حيث تقارن بالقيمة الحالية.

يتم عند الرفع الآلى لخرج الجهد من معدل التيار أو تنزيله حتى تتطابق القيم مع أقطاب الإحساس مع  $\pm$  مليفولتات للرقم الحالى. لوحة التحكم المجمع للأنود تشبه لتلك الموجودة فى معدة التحكم اليدوى. فى بعض الحالات يتم توصيل مرحلات (Relays) احتياطية ، مع التحكم فيها بواسطة مفاتيح التحديد لتوفير خرج تيار منخفض من دوائر معينة لأى مبردات أو الوحدة التى تكون فى الاحتياط وليس بها تدفق للمياه رغم احتوائها على الماء.

### ج- التحكم الآلى : Automatic Control

بينما أنه من الممكن استخدام الطريقة السابقة للتحكم الآلى للمعدة التى تتراوح ما بين 5 أمبير إلى حتى 1000 أمبير، إلا أن استخدام ذلك يكون غير اقتصادى بالنسبة للمبردات المساعدة، والمعدات المشابهة التى تتطلب خرج من 5 أمبير حتى 50 أمبير وحتى لمكثف صناديق الماء الرئيسى التى تتطلب حتى 100 أمبير فإنه عادة يستخدم نظام معيارى (Modular). هذا النظام مبنى على تعديل التيار حيث التحكم يدوياً والمغذى بالتيار المستمر إلى غرفة محتوية على عدد من التحكم لخرج معايير الأنود. كل معيار يحتوى على تجهيزه دائرة مطبوعة ، مع دائرة معدل تقليل التيار وخافض الحرارة حاملاً الخرج الرئيسى للترانزستور. عمل كل معيار مستقل يشبه ذلك لمعدة المقوم الترانزستورى (Thyristor) السابق شرحها فى أن الجهد الحالى يقارن بالتغذية.

ثانياً من قطب الإحساس المركب فى المعدن الجارى حمايته. ولكن، فإنه من الممكن بهذا النظام لأى ثلاث مبردات متجاورة حمايته عند مستويات مختلفة كلية طبقاً لظروف تشغيلها بدون اللجوء إلى مفاتيح التحديد.

### 6- الأنودات : Anodes

عندما يكون المطلوب كميات صغيرة من التيار أو حيث الطاقة الكهربائية غير متاحة، فإن الأنود الجلفنى هو الذى يستخدم عادة. عندما يكون المطلوب تيار كبير نسبياً مع توفر المصدر، فإن أنود التيار التأثيرى يكون هو الاقتصادى.



### أ- الأنودات الضحية Sacrificed Anodes

الأنودات الضحية هي من معدن أقل ندرة عن المنشأ المطلوب حمايته. حيث أنها تتآكل على حساب حماية معدن المنشأ وهي بهذا تمرر تيار إلى المعدن الأكثر ندرة (More Noble). هذه تكون خلية أولية كبيرة في الإليكتروليت، حيث المنشأ المطلوب حمايته يعمل لكاثود. التيار الساري خلال الإليكتروليت يسبب حدوث التآكل التدريجي للأنود، ولذا سمي الأنود الضحية (Sacrificed). المعادن الضحية المستخدمة عادة هي المغنسيوم، الزنك، الألومنيوم وهي عموماً في شكل السبيكة لتوفير أنود أكثر كثافة. بسبب جهدهم المنخفض، فإنه نادراً ما يكون استخدامهم اقتصادي في الإليكتروليت الذي مقاومته تزيد عن 30 أوم متر.

### أنودات التيار التأثيري : Impressed current Anodes

أنودات التيار التأثيري تحصل على الإمداد بالتيار من معدل المحول المعدل للتيار (Trans former rectifier Equipment) ويمكن بذلك أن تكون من أي معدن القادر على تمرير التيار من سطحها إلى الإليكتروليت. الأنودات المستخدمة في الماضي شملت خرقة الحديد، الجرافيت، الحديد عالي السيليكون، الرصاص / الفضة، الرصاص / البلاتين، التيتانيوم المغطى بالبلاتين والنيوبيوم المغطى بالبلاتين. في الأيام الأولى للحماية الكاثودية بالتيار التأثيري، كان الحديد عالي السيليكون هو المميز، وكان يثبت في الموقع المطلوب حمايته بواسطة سنادة من السيراميك العازل، لكونه من الحديد الزهر السبيكة المحتوية على 14% سيليكون وله معدل استهلاك حوالي 1 كجرام / الأمبير في العام لذلك فإن هذا الأنود كان ضخماً وعمره قصير في ماء البحر ويصعب تصنيعه ولكونه هش ويصعب تداوله. الرصاص عند سبكه مع 1-2% فضة، 6% أنتيمون فإنه يكون أنود عملي للحماية الكاثودية شريطة تكون طبقة من ثاني أكسيد الرصاص ( $PbO_2$ ) على سطحه وذلك بتنشيط الأنود في مياه مالحة عند كثافة تيار منخفضة يتم التحكم فيها بحرص. بمجرد تكون طبقة أكسيد الرصاص فإنه يكون قادراً على العمل عند كثافات تيار حتى 200 أمبير على المتر المربع.

سبيكة الرصاص المحتوية على 0.1% فضة ، 0.01% تريليوم وتوافق مع قطب البلاتين فإنها تكون سبيكة أنود ذات تأثير رائع. القطب المزدوج من البلاتين (Pr – Bi – Electrode) يعمل على تكوين طبقة ثانى أكسيد الرصاص على سطح الأنود عند كثافات تيار أعلا عن الأنودات التقليدية من الفضة/الرصاص ، كما تساعد كذلك فى إعادة تكون طبقة ثانى أكسيد الرصاص ، عند تلف سطح الأنود. أثبتت الخبرة أن هذا الأنود قادراً على التحمل عند كثافات تيار ما بين 100 - 500 أمبير/ المتر المربع من السطح النشط.

البلاتين الصلب مكلف جداً للاستخدام كأنود عدا فى الاستخدامات الخاصة. ولكنه يستخدم كطبقة رقيقة من البلاتين مرسبة أو مدرفلة (Rolled) على أساس من التيتانيوم أو النيوبيوم. معادن الأساس هذه تستخدم حيث فى الظروف الأنودية فإنه يتم حمايتها بواسطة طبقة ملتصقة خاملة و سطح غير موصل من طبقة الأكسيد، وبذلك فإنها تقاوم التآكل فى أى فاصل من التغطية بالبلاتين. بالترسيب المعدنى الجزئى للأنود (Partilly plating the anode) فإنه يمكن حصر انتقال التيار إلى الأليكتروليت لتلك المساحات حيث يمكن أفضل استخدام مؤثر لها.

التيتانيوم المغطى بالبلاتين هو المادة المستخدمة فى معظم الأنودات فى محطات القوى ، وهى تصنع فى أشكال مختلفة كثيراً ولكن الشكل المستخدم أساساً هو شكل القضيب أو الشكل الأنبوبى. الأحجام يبدو أنها قياسية وتتراوح من 4 ميليمتر للقطر حتى 8 ميليمتر بالنسبة لأنود القضيب المستمر، 12 ميليمتر للأنود الصلب الكابولى، قطر 19 ميليمتر للأنود الأنبوبى الكابولى. أنودات القضيب المستمر تكون مغطاة بالبلاتين على كل الطول وأنودات الكابولى تكون مغطاة لبوصات قليلة فقط عند النهاية البعيدة عن المنشأ الجارى حمايته. الأنودات الأنبوبية الكابولى (Tubular cantliver) هى المستخدم عموماً فى نظام مياه التبريد لمحطة الطاقة. وهى تعمل عادة عند كثافات أنود من 500 أمبير/ المتر المربع ويمكن أن تصل كثافة التيار حتى 1000 أمبير/المتر المربع. شريطة عدم زيادة الفولت بين الأنود الأسمى والأليكتروليت عن 6 فولت.

### إنشاء الآنود :

طريقة الإنشاء تختلف كثيراً طبقاً لنوع الآنود والمكان. عادة يتم تثبيت الآنودات الضحية باللحام المباشر مع المنشأ المطلوب حمايته أو بالتوصيل المباشر مع مسمار النحاس المثبت سابقاً.

آنودات التيار التأثيرى تنشأ بعدة طرق، أبسطها هو بعمل ثقب مباشر فى جدار الغرض. آنود الكابولى يتوفر فى تجهيزه تركيب مقلوظه وعند تركيبه فى المعدة فإنه يسمح بالآنود النشاط بالبروز فى المجال المائى حيث كابل التوصيل يكون خارجياً. عادة يستخدم النوع بالفلنجة ويمكن وضعه مع صرة رباط على الوجه الخارجى بحيث ينتأ الآخر إلى فراغ الماء كما سبق. أو أن الفلنجة يمكن وضعها على السطح فى فراغ الماء حيث تكون وصلة الكابل داخلية. الآنودات المستمرة بقطر 4 ملليمتر أو 8 ملليمتر تكون من التيتانيوم وتكون مغطاة بالبلاطين ، وتوضع فى فراغ الماء للمبرد بجوار لوحة الأنابيب أو المصافى فى مكان مناسب. يكون من الأساسى ألا تلتصق بالمنشأ حيث تتركب على شريط عزل صلب أو على حامل للعوازل بفواصل 200 ملليمتر.

### 7- الأقطاب القياسية / أقطاب الإحساس (Reference/Sensing Electrode)

الأقطاب القياسية تصنع من قضيب من النحاس على النقاء مغمور فى محلول عيارى من كبريتات النحاس. الالتصاق مع الأليكتروليت يتم من خلال سداة مثقبة من السيراميك. أو من الخشب والذى تظل مبلله بالارتشاح والنشع فى محلول كبريتات النحاس. هذا النوع من الأقطاب القياسية يستخدم مع مقياس الفولت المحمول على المقاومة ويمكن غمرة بنهاية طول الكابل فى أى منشأ مفتوح محتويًا على الماء. فمثلاً فى المصافى الأسطوانية أو مصافى الخلجان فى منطقة مأخذ مياه التبريد. كما يمكن استخدامه كذلك فى القياسات فى المنشآت المقللة بواسطة كوبرى مسامى مركب فى وعاء غير معدنى ، ولكن بسبب مشكلة التحكم فى المياه والإحكام لا تستخدم هذه الطريقة عادة.

**قطب الزنك القياسي : (Zinc anode reference electrode)**

الزنك فى مياه البحر النظيفة يوفر بيانات كافية ودقيقة لجهد المعدن المستخدم خلال نظام تدوير المياه. من المهم أن يكون الزنك على النقاء حيث يوصف الزنك بدرجة نقاء 99,96% مع محتوى من الحديد لا يزيد عن 0.0014%. هذا المعدن يوفر قطب منخفض التكلفة نسبياً ونشط ويعتمد عليه خلال  $\pm 30$  مليفولت ، وهذه كافية للمراجعة الدورية. يجب الحرص عند درجات الحرارة المرتفعة حيث يتعرض الزنك إلى تغير كبير فى الجهد عند ارتفاع درجة حرارة الماء. يحدث ارتباك عند حدوث الحماية الزائدة . (Over Protection) حيث يمكن لقراءة الجهد أن تنخفض حتى الصفر وبذا تعطى قراءة سالبة. أنود الزنك القياسي يثبت بالقلاوظ.

**قطب الفضة/كلوريد الفضة القياسي :**

يحتمل أنه الأكثر اعتماداً عليه من بين الأنواع الأقطاب القياسية ، حيث أن هذا القطب يحتوى على فضة نقية كموصل موجودة خلال خليط من الجسيمات الصغيرة للفضة وكلوريد الفضة. كل هذا يكون داخل وعاء مقب ليسمح بالالتصاق مع الإليكتروليت. وجد أن الدقة هى حوالى  $\pm$  مليفولت. رغم تكلفتها العالية مقارنة بقطب الزنك، فإنه تتم المعايرة على هذا القطب عندما يكون المطلوب هو التحكم الآلى فى الجهد.

**جهود الحماية النموذجية فى مياه البحر :**

القطب القياسي	الإليكتروليت	جهد الحماية فى 20 أوم سم مياه البحر عند 20 م
كالوميل Ag/AgCl Cu/CuSO <sub>4</sub> الزنك	KCl المشبع ماء البحر محلول مشبع من كبريتات النحاس ماء البحر	- 0.8 فولت - 0.8 فولت - 0.85 فولت + 0.240 فولت



عند الاستخدام المستمر وتثبيتته وخاصة عند الاستخدام كأقطاب الإحساس (Sensing) لنظم التحكم الآلى، فإنه يجب أن يكون للأقطاب مساحة سطحية مناسبة وأن تستخدم مع دوائر قياس وتحكم عالية الهبوط لتجنب الاستقطاب وخفض تأثير الهبوط فى الجهد (IR drop) فى الدائرة. الجدول (11/1) يوضح علاقة ثلاث مقاييس قياسية ويوضح مجالات الجهد للحماية الجزئية والقصى والزائدة.

الجدول (11/1) العلاقة ما بين مقاييس القطب القياسى

ومستوى الحماية الكاثودية

بيان	الجهد المقاس للقطب		
	قطب الزنك	قطب الفضة/كلوريد الفضة بالمليفلوت	قطب النحاس/كبريتات النحاس بالمليفلوت
حماية كاثودية مسبقه أو جزئية	550 +	500-	550-
	450 +	600-	650-
	350 +	700-	750-
أقصى منطقة	250 +	800-	850-
	150 +	900-	950-
	050 +	1000-	105-
حماية كاثودية	050-	1100-	1150-
	150-	1200-	1250-
	250-	1300-	1350-
	350-	1400-	1450-

#### الرجوع السلبى: Negative Return

عزل كابل الحمل السالب من عودة قطب الإحساس القياسى يكون أساسيا. عمليا تستخدم كوابل منفصلة لتجنب أى مشاكل مصاحبة بانخفاض الفولت الذى يحدث فى كابل الحمل السالب.

#### 8- كثافات التيار والجهود المستخدمة :

التيار المطلوب لحماية وحدة المساحة السطحية يتوقف على عدد من المتغيرات. أهم هذه المتغيرات هو المعدن المطلوب حمايته ، ووجود أى التصاق بين معدنين، السرعة

المتغيرة لسريان الماء، التهوية ودرجة الحرارة. كل ما سبق ثابت إلى حد ما بالنسبة لأي غرض مطلوب حمايته. كما يجب أن يؤخذ في الاعتبار نوعية التغطية والتي سوف تختلف مع عمر المعدة، مياه التعويض، مع تهويتها والتي سوف تتأثر بالظروف في المنطقة التي يتم سحب المياه منها.

كثافات التيار من 100 غلى 500 مليامبير/ المتر المربع تستخدم للمواسير الغير مغطاة والتي تتدفق فيها المياه، مع للتوزيع الجيد للأنودات فإن كثافة التيار 200 مليامبير على المتر المربع هي عادة كافية بالنسبة للاستقطاب الأولى الذي يليه مستوى تشغيل من 100 إلى 150 مليامبير/ المتر المربع.

في حالة المصافى الأسطوانية الدوارة والمصافى ذات الشريط المتحرك وباستخدام أنودات بعيدة فإن الحماية الجيدة يمكن تحقيقها بكثافة تيار 100 مليامبير/ المتر المربع لكل من الأجزاء المعدنية الثابتة والمتحركة. ولكن بالنسبة لشبكة المصفاه المصنوعة من الصلب المقاوم فإن كثافة التيار المستخدمة تكون 200 مليامبير/ المتر المربع. الحماية التي بنيت على ما سبق وجد أنها مؤثرة حتى في حالة معظم المنشأ كونه باستمرار في أو خارج الماء.

بالنسبة لطلومات تدوير المياه فإن متوسط كثافة التيار 500 مليامبير/المتر المربع لكل المساحة السطحية المبثلة أثبت نجاح خلال عدة سنين من الخدمة. توزيع الأنودات يعتبر أساسى ، كذلك الربط الكافى العامود الإدارة والدافع مع ممر عودة التيار للدائرة.

صناديق مياه المكثف كانت موضع نقاش لفترة طويلة. قيمة 250 مليامبير/المتر المربع من المساحة الكلية للسطح المبلل لكل من الصندوق ولوح الأنابيب وجد أنه كافى لحدوث الاستقطاب الأولى مع مستويات تشغيل 50 % إلى 60% من هذا الرقم. أرقام مشابهة تنطبق على المبردات المساعدة والمصافى المساعدة حيث تحتاج إلى كثافة تيار تشبه للمصفاه الدوارة السابق مناقشتها. يجب التأكيد على أن الأرقام التفصيلية السابقة باستثناء المصافى الأسطوانية الدوارة مبنية على نظام أنود جيد التوزيع.

الأرقام المذكورة بنيت على المنشآت الغير مغطاة أو ذات التغطية الضعيفة، وعند وجود التغطية الجيدة فإن كثافة التيار يمكن أن تقل طبقاً لكفاءة التغطية.

المستوى العام المقبول للجهود اللازمة لايقاف التآكل هي -0.8 فولت بالنسبة لقطب الفضة/كلوريد الفضة (كقطب مؤشر). وقد يكون هناك تأرجح فى الجهد بقيمة 0.3 فولت وفى حالة الظروف اللاهوائية فإن تأرجح الجهد بقيمة 0.1 فولت إضافى يمكن أن يكون ضرورى.

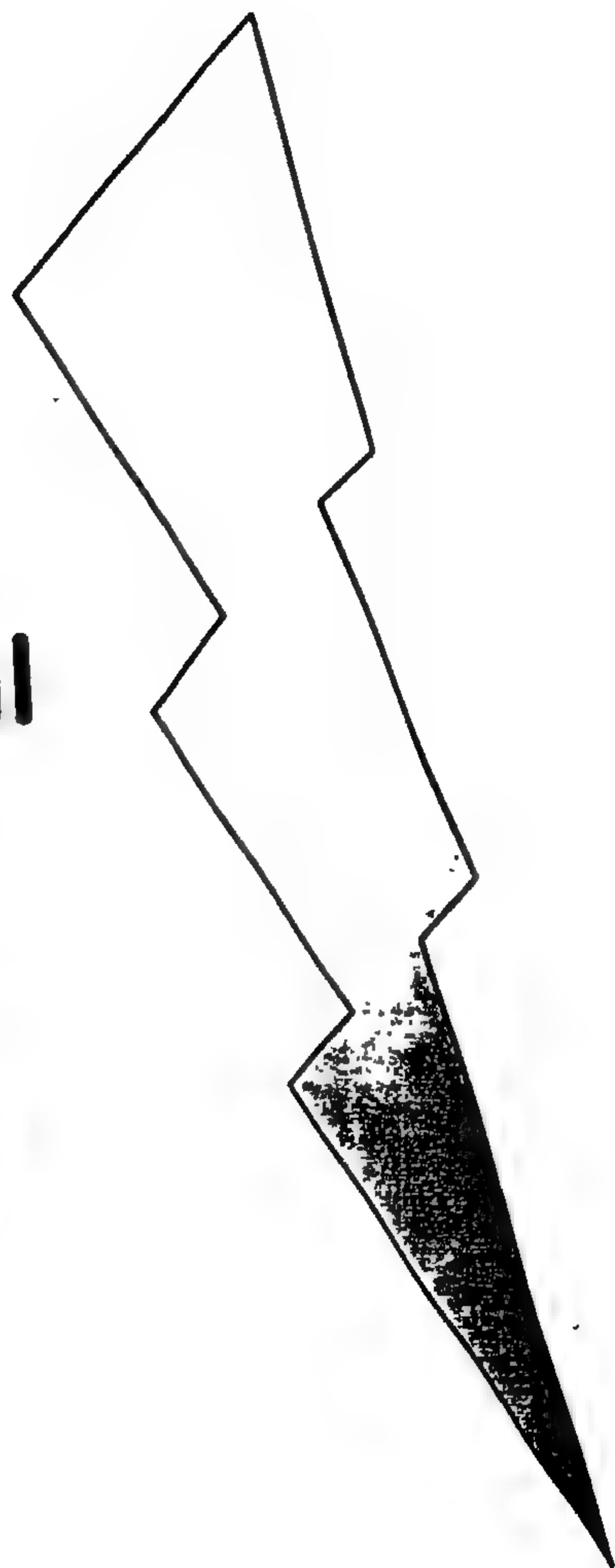
من الناحية العملية فإن تلك المستويات توفر توازن جيد ما بين الحماية الكافية وزيادة تراكم الترسبات الكلية. الترسبات الكلية مفيدة فى حالة الرواسب الصغيرة والرقيقة ولكن مخاطر الزيادة حيث يمكن أن تتفتت وتعمل على غلق مكونات مخرج نظام تدوير المياه. الحصول على هذه المستويات يجب مراجعته بالملاحظة البصرية حيثما أمكن ذلك مع ضبط مستويات الحماية المناسبة.





## **الفصل الثانى عشر**

**إمدادات الطاقة  
ونظم التحكم الثابتة**





## إمدادات الطاقة ونظم التحكم الثابتة

### Power Supplies and fixed Monitoring Systems

#### 1- المبادئ الأساسية :

تآكل المعدن في الإليكتروليات هو عملية كهروكيميائية . التدفق المعاكس للأيونات والإليكترونات ما بين الكاثودات والأنودات المحلية على سطح المعدن في مجال عدواني يسبب إيجاد تيار كهربى. الحماية من التآكل بطريقة الحماية الكاثودية هو إدخال طريقة لانعكاس هذا التيار الكهربى. أساسا يمكن إدخال بطارية ذات قطبية معاكسة (Opposite polarity) إلى خلية التآكل. تقوم الأنودات الضحية بهذا العمل بسبب الفرق الطبيعي في الجهد ما بين مادة الأنود والمنشأ المطلوب حمايته.

يمكن كذلك استخدام المصادر المتاحة من الطاقة الكهربائية، جنبا إلى جنب مع الأنود لتكون خلية كاملة كما في الشكل (12/1) وبذا تستبدل البطارية. من المهم أن يكون التيار المغذى والمؤثر من مصدر تيار مستمر وليس من مصدر تيار متردد.

المصدر العادى للطاقة الكهربائية المتاحة للاستخدام العملى هو مصدر التيار المتغير عند جهود (Voltages) 110 ، 240 ، 440 فولت (50 to 60 Hz) بنظم مجال فردى أو ثلاثى (Single or 3 phase systems).

في الشكل (121/2) توضيح لأبسط طريقة لتوفير تيار ثابت (DC) من تيار متغير. المحول الموجود (Transformer) هو وسيلة لتغيير جهد (فولت) الإمداد إلى رقم أقل. شكل موجة (دورة) التيار المتغير والمقابل من التيار الثابت المنتج حيث شكل الموجة موضح. هذا الشكل المبسط هو غير كافى عملياً، حيث فقدت نصف دورة واحدة من التيار المتغير الأسمى.

الشكل (12/3) يوضح دائرة مطورة، باستخدام كوبرى لموجة كاملة (Full wave bridge) لتوفير تيار ثابت تام التعديل (Fully rectified). حالياً تم استعادة نصف الدورة المتغيرة التى سبق فقدها ولكن التيار مازال فى اتجاه واحد (Uni directional). فى حالة عدم إنتاج التيار الثابت بواسطة التعديل (Rectification) ليكون موجة كاملة

(Full ware) فإنه يكون ذو قيمة قليلة كمصدر تيار ثابت يمكن استخدامه كتيار تأثيرى فى الحماية الكاثودية.

شكل موجة الجهد (الفولت) الناتج بالدائرة فى الشكل (12/3) هى من مصدر طاقة من تيار متغير وحيد الطور جيبى (Single phase sinusoidal AC). تردد الموجة الصغيرة (Ripple frequency) يكون ضعف تردد مصدر التيار المتغير أى من 100 to 200Hz ، جهد النموذج (فولت التموج) يكون 49% من متوسط قيمة التيار المتغير (DC) عند قياسه بفولتمتر كهربى باللفات المتحركة (Moving coil). التيار التأثيرى يكون طبقاً لقانون أوم

حيث :

$$I_{dc} = \text{التيار بالأمبيرات}$$

$$V_{dc} = \text{فولت التيار التيار}$$

$R =$  مقاومة الدوائر من معدل التيار، خلال الكابل إلى الأنود، الأنود إلى "مقاومة الإليكتروليت ومقاومة ممر العودة خلال (ماء البحر) ، من المنشأ إلى الطرف السالب لمعدل التيار. (من الناحية العملية فإن المقاومة  $R$  معقدة ذلك أن التقدير الدقيق لقيمتها يمكن عملة فقط بعد إنشاء المنظومة. ولكن ، التقدير المناسب لقيمتها فى مرحلة التصميم يمكن عملة واستخدامه للحصول على متطلبات الإمداد بالتيار). سيتم مناقشة قيمة مقاومة الحمل للتيار المستمر فيما بعد.

الدوائر التى نوقشت نصف التعديل من دوائر وحيدة الطور (Single phase). عملياً فإنه يؤخذ فى الاعتبار إمدادات ذات الطور الثلاثى (3 phase) و معدلات (Rectifiers) ذات الطور الثلاثى وخاصة عندما يكون المطلوب طاقات كبيرة. (راجع الشكل (12/4) بالنسبة لتفاصيلات دائرة نمونجية). مختلف الأشكال تنتج خرج لشكل الموجة كما فى الشكل. شكل الثلاثة أطوار سوف يوفر الفولت الموجى (Ripple Voltage) بنسبة 4% أو أكثر وحتى إلى 49% فى أسوأ الحالات للموجة الكلية للمعدل بالطور الوحيد



(For single phase full wave rectifier). الجدول (4/1) يوفر التفاصيل عن الفولت الموجى والتردد. بالعودة ثانياً للمعادلة رقم (4/1) فإن جهد التيار المستمر المطلوب لدفع التيار التأثيرى يمكن حسابه. الفولت للتيار المستمر المطلوب هو عادة أقل من جهد المصدر (Supply). لذلك يلزم محول (Transformer) والذي يكون مناسباً للإمداد بالتيار المتغير المتوقع، يتوقف الفولت الثانى على نوع المعدل الذى اختير وعلى فولت التيار المستمر المطلوب عند أطراف المعدل. التصميم التفصيلى للمحول سوف يتوقف كذلك على نوع التحكم المستخدم. بصرف النظر عن شكل المحول/ المعدل المختارين، فإنه يلزم الاهتمام بفقد الطاقة والذي يحدث فى مختلف عناصر الطاقة. لمنع زيادة السخونة للمعدة، تستخدم عدة طرق متاحة للتبريد وهى:

- التبريد الطبيعى بالحمل (Convection) فى حجرة مهواة.
- التبريد الطبيعى بالهواء بالحمل (النقل) مع الغمر الكلى للمعدات فى سائل غير موصل مثل الزيت المعدنى أو سائل السيليكون، حيث تشع الحرارة من الحائط الخارجى للوعاء.
- المكان المغلق تماماً، حيث الإشعاع الحرارى، فى الداخل يمكن أن ينتقل إلى الحوائط الخارجية ، والتي لها المساحة الكافية لإشعاع الحرارة المتولدة والمحافظة على درجة حرارة الهواء الداخلى عند المستوى المقبول.
- التبريد بدفع الهواء للمعدل والمحول باستخدام المراوح للتهوية.
- الانتقال الحرارى من المعدلات والمحولات باستخدام مواسير تبريد والمبادلات الحرارية.
- التبريد بالماء وخاصة فى حالة الطاقات الكبيرة جداً.
- عندئذ يكون المطلوب مواصفات تفصيلية لمصممي معدة التعديل بخصوص.
- التغيرات المتوقعة فى درجات الحرارة.
- المكان: داخل غرفة مغلقة أو خارج الغرفة.
- المكان الجغرافى والحاجة إلى مظلات للحماية من الشمس .. الخ.

- رطوبة الهواء الجوى.
- الطبيعة المجال المحيط مثل الحمل للأملاح، العدوانية، الرياح، ظروف الأتربة.

جدول (4/1) التردد الموجى ومعاملات الفولت لمختلف نظم المعدل

الفولت الموجى	التردد الموجى	وصف دائرة المعدل
1.21	F	الطور الواحد (Single Phase)
0.49	2F	نصف موجة Half wave
0.49	2F	كوبرى Bridge
		مزدوج الموجة Bi-phase
0.18	3F	ثلاثى الطور (3 phase)
0.04	6F	نصف موجة Half wave
0.04	6F	نجم مزدوج Double star
		كوبرى Bridge

## 2- تنظيم خرج التيار للحماية الكاثودية

### Control of output current for cathodic protection

المعدلات المحولة (Trans former rectifiers) تكون مطلوبة لتوفير وسيلة للتحكم، ولتمكن مهندس التآكل من البحث عن أفضل ظروف للتشغيل أثناء الأداء الأولى ثم عمليات الضبط التالية. توجد عدة طرق لذلك.

(1) التحكم فى فولت التيار المتغير للجهاز المعدل (Rectifier) بواسطة:

- نقط تفرع (taps) على الثانى للمحول والتحويل المناسب بواسطة محولات دوارة (Rotary switches) [وهذه خاصة بالطاقة الصغيرة].
- التغذية بفولت متغير إلى الأولى للمحول (Primary of the transformer) باستخدام محول آلى (Auto-transformer) بفرعات فولت (Voltage taps)

واستخدام مفاتيح تحويل (Switches) لاختيار الفولت المستخدم إلى الأولى للمحول ذو اللفات المزدوجة.

• التحكم في الفولت إلى الأولى للمحول بواسطة محول آلي (Auto transformer) من النوع الدوار (Rotary) أو متغير الفولت (Variac).

(2) التحكم في خرج فولت للتيار المستمر (DC) إما باستخدام المضخم المغناطيسي (Amplifier) في تجهيزه المعدل بالتحكم السيليكوني (Silicon controlled Rectifier Device).

أى من الطرق السابقة يمكن أن يستخدم فى التحكم بالطرق اليدوية. نظم التيار التأثيرى يمكن كذلك أن تتطلب تحكم آلى حيث تأثير تيار المعدل على التآكل يتم إدارته بواسطة أنصاف الخلايا، بما يمكن من تغيير الظروف لزيادة أو خفض التيار التأثيرى حسب الحاجة. النظم الآلية عادة تستخدم أجهزة تعديل مسيطر عليها (Controlled Rectifiers)، ولكن مازالت المضخات المغناطيسية تستخدم كما أن بعض النظم تستخدم محركات خدمة لتشغيل المحولات الدوارة (Rotary Transformers)

أ- مواصفات المعدل/ المضخات:

(Specification of transformer/ rectifiers)

من المهم معرفة أن هناك عدد من المواصفات المتعلقة بالمكونات المستخدمة فى المحولات/المعدلات. لذلك فإنه من المهم لمهندس التآكل أن يعرف متطلباته بوضوح وبدون غموض مع الأخذ فى الاعتبار المواصفات والمعايير التى قدمها المنتجون.

ب- كفاءة المحول/ المعدلات :

الفقد فى الحرارة الخاص بالمحولات، المعدلات ، الموصلات ، الفيوزات والعوازل ، وأطراف الكوابل جميعهم يقلل للكفاءة الكلية لنظام التغذية بالتيار التأثيرى. كذلك من المهم معرفة أن هذه المعدات تستهلك الطاقة باستمرار على أساس كل عام. ومع استمرار ارتفاع تكاليف الطاقة فإنه يجب مراعاة تكاليف التشغيل. لذلك فإن الحرص فى التصميم يمكن أن يحسن من الكفاءة ، رغم أن الكفاءة العادية للمحولات والمعدلات هى من 65 -

90% عند أقصى تحميل. عند ظروف التشغيل لنظم التيار التأثيرى أقل من أقصى تحميل فإن الكفاءة سوف تنخفض.

الصعوبات المتعلقة بالنسبة لمعامل الكفاءة والطاقة تحدث عموماً عند تكون معدات المعدل/ المحول جزء رئيسى من الحمل الكلى المتصل وخاصة فى المناطق البعيدة.

ج- مرشحات التيار المستمر لتموج وتأثير الفولتات الموجة الصغيرة:

### DC Ripple filters and effect of ripple voltages:

الفولت الموجى المصاحب مقيم لنسبة مئوية لمتوسط خرج الفولت من التيار المستمر .  
لمختلف أنواع أجهزة التعديل للتيار موضحة فى الجدول (4/1) من وجهة النظر هذه فإن أنظمة الثلاث مجالات (3 phase) مفضلة عن المجال الواحد، ولكنها تسبب ارتفاع فى التكاليف الرأسمالية.

اختلاف وجهات النظر حول الحاجة إلى التحكم فى الفولت الموجى للتيار المستمر قد أدى إلى توصيف التحكم القريب للفولت الموجى وفى بعض الحالات تم طلب 5%. بينما المصممون يمكن أن يحققوا زيادة فى التكاليف سريعة وخاصة فى حالة المحولات/ المعدلات للطاقة الكبيرة (التي تزيد عن 100 أمبير).

يمكن التحكم فى الفولت الموجى باستخدام مرشحات ذات تردد منخفض مصنوعة من حث و/أو مكثفات (Inductance and or capacitors) متصلة بخرج المعدل، وهو التقنية المستخدم عادة فى إمدادات الطاقة بالتيار المستمر للعدة الإليكترونية.

تتوقف درجة التنعيم (Smoothing) على قيمة الحث/ المكثف المستخدم الحاجة إلى مرشحات موجية كانت إلى حد كبير نتيجة عدم المعرفة لما نتج عن تطوير الأنودات ذات الأساس من المعادن الثمينة. الأنودات المصنوعة من مواد مثل السيليكون - الحديد، الرصاص ، الفضة، لا يحدث لها تلف ظاهر من الفولت الموجى العالى. الأنودات المستخدمة لمعدن الأساس من اللثيانيوم، نيوبيوم (Noibium) فشلت فى كثير من الاستخدام فى السنين القريبة. نظراً لأن هذه الأنودات تتطلب التغطية بالبلاطين لتمكين السطح من توصيل التيار. فشل هذه الأنودات هو نتيجة تمزق البلاطين من معدن الأساس،



وإن كان هذا السبب أصبح معروفاً. ولقد بنيت الأسباب الرئيسية لهذا التمزق طبقاً للأسباب التالية:

1. التلف الميكانيكى، وخاصة فى حالة طبقة التغطية من البلاتين تكون فى شكله شبكة أو أسلاك ملحوظة.

2. أن التردد الفولت الموجة القصير أقل من (100 Hz).

3. إنتهاكات الفولت السالب فى إمدادات التيار المستمر إلى الأنود، بسبب طرق معينة للتحكم بوحدة المعدل (Rectifier control) ، ونقص مكونات الدائرة لمنع حدوث ذلك.

يمكن التحقق سريعاً من أى كل طور وحيد (Single phase) ، حيث دوائر الموجة الكلية المعدلة ينتج تردد موجة قصيرة أساسية والتي هى ضعف ذلك من إمدادات التيار المتغير. طبيعى أن هذا التردد سيكون (Hz 120 or 100) وذلك طبقاً لتردد التيار الداخلى. دوائر الأطوار الثلاثة ينتج مترددات موجة قصيرة بما يعادل ثلاث أو ستة أضعاف موجة الإمداد. لهذا فإنه نظرياً فإنه لا يلزم أى عناصر تنعيم.

ولكن عملياً ، طبقاً لطريقة التحكم فى الجهاز المعدل المستخدم (Rectifier) فإن عمل درجة من التنعيم سيكون عمل جيد. سيحدث بعض التنعيم للجهاز المعدل للتيار المستمر طواعية ، ذلك بسبب الحث (Inductance) للدائرة الخارجية. يلاحظ هذا بكثرة فى نظم الأنود الوحيد الضخم.

يرجع التلف فى الغطاء البلاتينى للآتى الحالة (1) سابقاً يمكن منعه بالدقة فى التصميم التلف بسبب فولت الموجة القصيرة (2) يمكن منعه بالإدارة والتحكم فى جهاز التعديل. الحالة (3) من الصعب منعها ذلك لأنها نتيجة قيمة الحث بكل دائرة التيار المستمر ولكن يمكن منعها بدرجة كبيرة بالتصميم الصحيح للمعدل وتثبيت المكونات التى تمكن من إنشاء الطاقة المغناطيسية المحتجزة فى الدائرة.

فى حالة مراعاة الثلاث نقط السابقة فإن إمدادات التيار المستمر من المعدل سوف لا تسبب تمزق البلاتين من التيتانيوم أو اللينوبيوم.

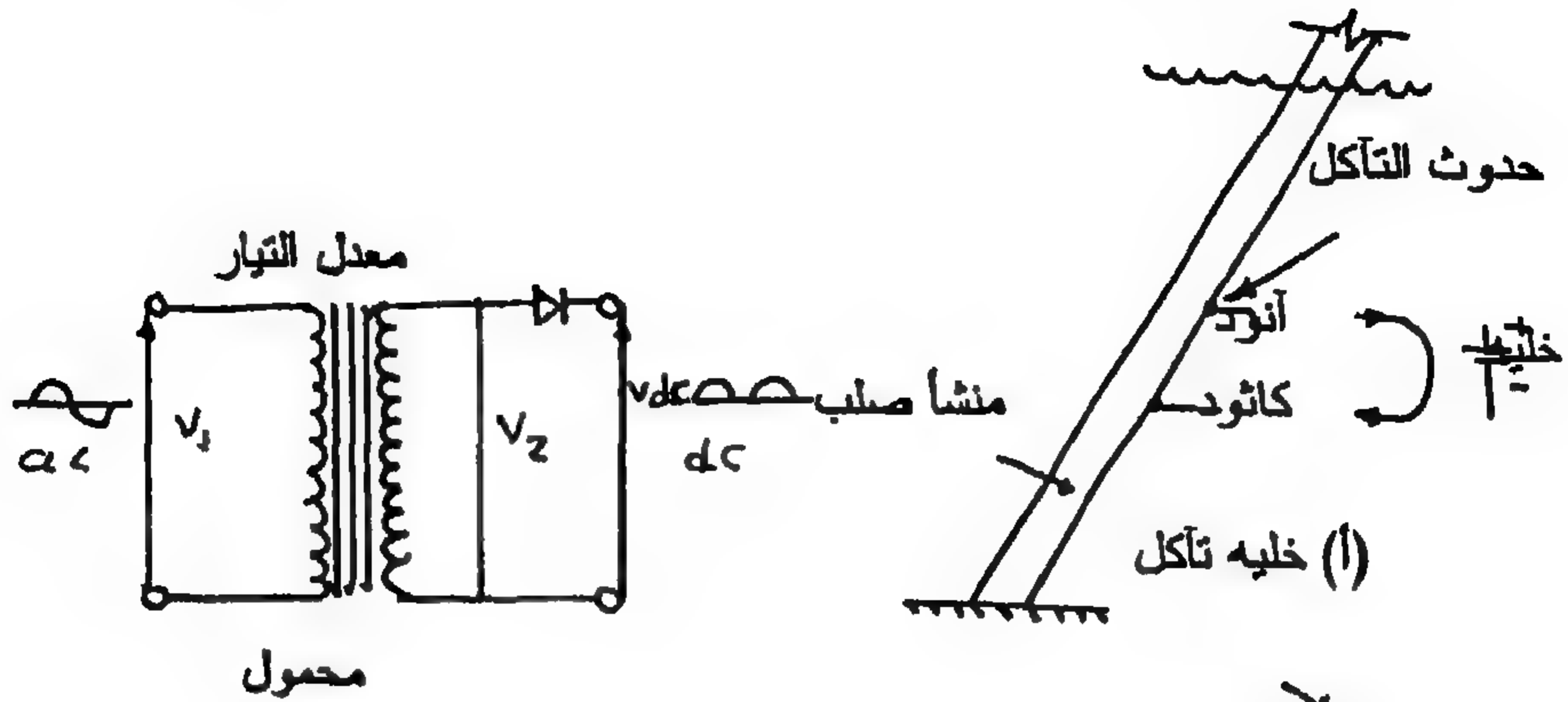
## 4- مصادر الإمداد بالتيار المستمر للاستخدام كتيار تأثيرى:

متطلبات الرصد والتحكم فى مقاومة التآكل يمكن أن تحدث فى المناطق الجغرافية البعيدة. ففى حالة أن التغطية للصلب أو نظم الأنود الضحية لا يمكنها توفير متطلبات الحماية من التآكل، عندئذ فإنه يتم استخدام التيار التأثيرى. فى المناطق البعيدة حيث يتعذر الحصول على مصدر طاقة مستديم يمكن اللجوء إلى البدائل التالية.

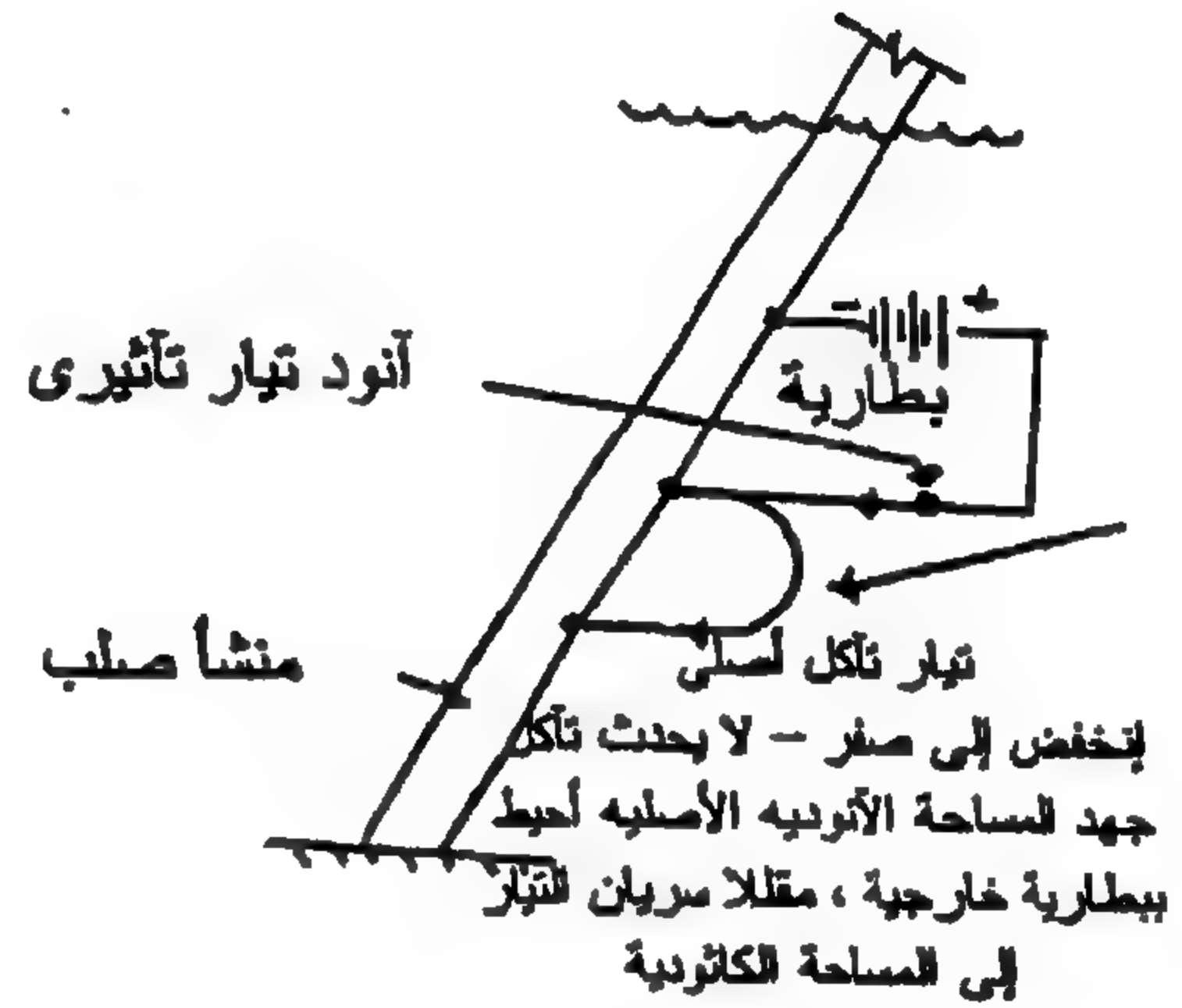
- التوليد للطاقة بمولد ديزل أو وقود لإنتاج تيار مستمر والذي يمكن استخدامه مباشرة ، أو تيار متغير مع توصيل وحدات من أجهزة المحول/ المعدل.
- التيار التأثيرى من التحول المباشر للطاقة من الطاقة الشمسية. الطاقة المتاحة من الخلايا الشمسية منخفضة ولكن يمكن توفير نظم من 15 إلى 20 أمبير. فى هذا المجال مازالت الأبحاث لتطوير التكنولوجيا وبالتالي خفض التكلفة.
- المصادر الطبيعية المتاحة للطاقة مثل طاقة الرياح، طاقة الماء، الغاز الطبيعى المحلى أو الزيت من خطوط الأنابيب. كل هذا يمكن استخدامه لإنتاج التيار الثابت المستخدم فى نظام التيار التأثيرى.

## 5- الحماية الكهربائية لمجموعات المعدل :

كل المعدات الكهربائية تحتاج إلى الحماية. طرق الحماية تمنع التلف لشبكة توزيع الكهرباء وكذلك التحميل الزائد للكوابل. أفضل تجهيزة عادية للحماية هى الفيوز المنصهر (Fuse). الفيوزات تمنع حدوث التلف للكوابل والمعدات الكهربائية الأخرى فوق التيار للمعدة الكهربائية التالفة. التلف هو محصلة التلف الميكانيكى بسبب التيارات الكهربائية الكبيرة المعوقة (لقصر الدائرة - Short - Circuit) التى تسرى كبداية للحريق فى حالات التحميل الزائد. الفيوزات المنصهرة هى تجهيزات مقاومة للتيار، حيث زيادة التيار تسبب الانصهار والحرق للفيوز.

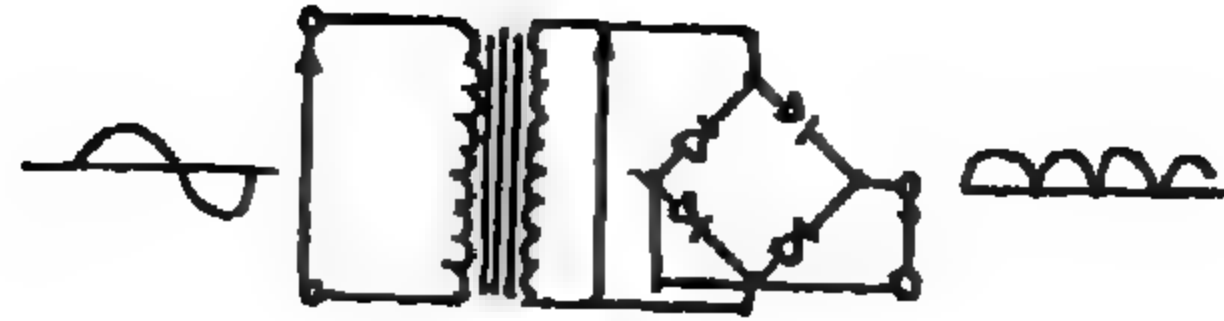


شكل (12/2) دائرة معدل التيار البسيطة بمحول نصف موجة



(ب) خلية تآكل وأنود تيار تأثيري

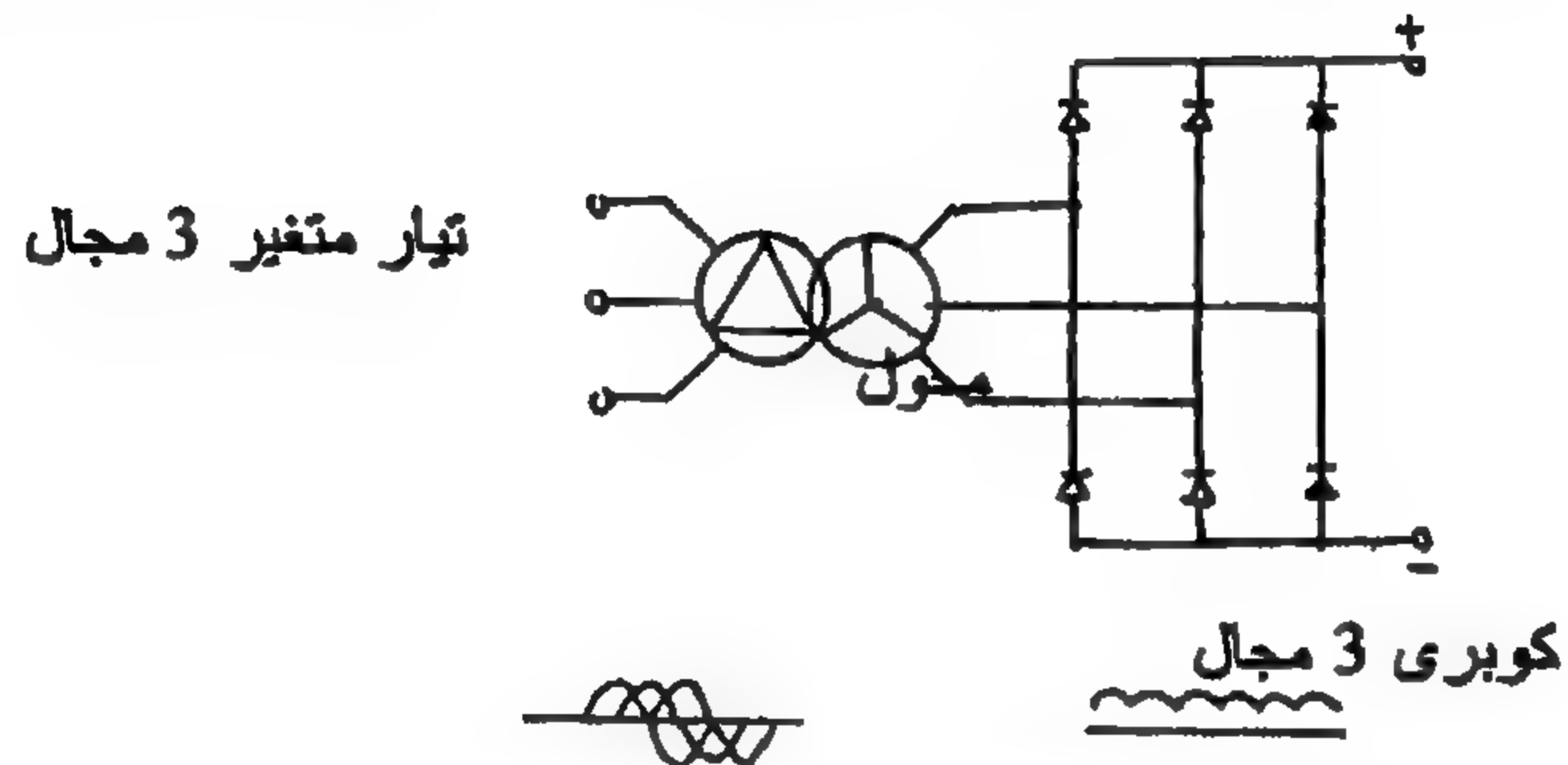
شكل (12/1) دائرة بسيطة تصور التآكل وإيقافه بالتيار التأثيري



معدل للتيار بموجه كامله

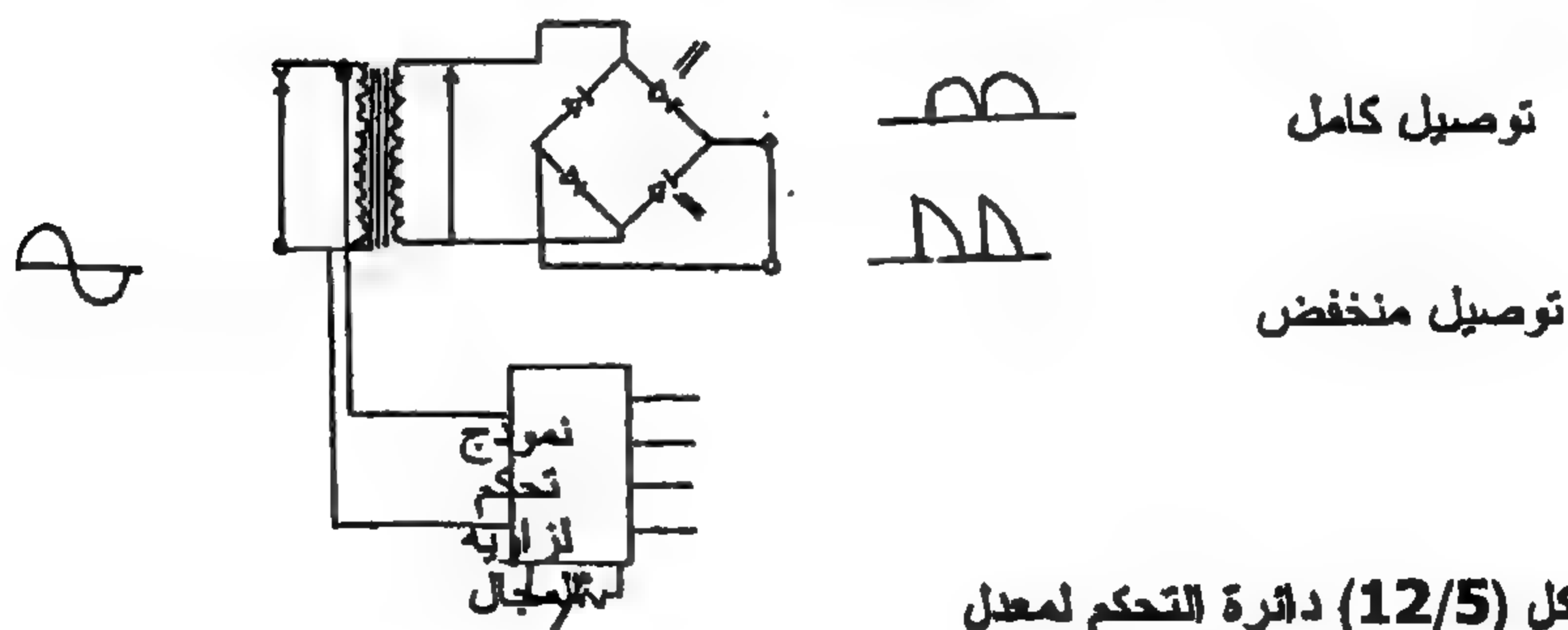
شكل (12/3) محول ودائرة معدل التيار بالموجة الكاملة وكوبرى المجال الواحد

Transformer and full wave single – phase bridge rectifier circuit.



شكل (12/4) دائرة محول ثلاث مجال / معدل التيار

3 phase transformer / rectifier circuit



شكل (12/5) دائرة التحكم لمعدل

التيار بالمجال الواحد

Single phase controlled rectifier circ

برتنشيو ميتر تحكم



**الفصل الثالث عشر**  
**الأنودات الضحية**  
**وأنودات التيار التأثيرى**





## الأنودات الضحية :

### مقدمة :

الأنودات الضحية (التي تتآكل) المستخدمة غالباً في نظم الحماية الكاثودية هي سبائك المغنسيوم، الزنك، والألومنيوم. والأنودات الأخرى الأقل استخداماً والتي قد تستخدم أحياناً هي أنودات الحديد والتي استخدمت للحماية الكاثودية للصلب المقاوم وذلك لمقاومة حدوث التآكل الكهفي (Crevice) في مياه البحر.

أنودات المغنسيوم استخدامها محدود خارج شاطئ البحر. سبائك المغنسيوم مناسبة بالتحديد للبيئة ذات المقاومة العالية حيث يكون جهداها السالب وخرج التيار العالى لوحدة الوزن مطلوباً. خزانات المياه العذبة أو الخمضاء (Brackish water) هي المناسبة للاستخدام خارج الشاطئ. وكذلك استخدمت سيور أنودات المغنسيوم بتأثير جيد للاستقطاب المسبق (Prepolarize) للصلب وبذا يقلل من متطلبات الحماية الكاثودية بنسبة حوالى 40 - 50% هذا الاستخدام أصبح مقبولاً ذلك لأن قوة القص لوزن الألومنيوم أو الزنك أصبحت عامل حساس.

الزنك هو من أفضل مواد الأنود الضحية. سبائك الزنك استخدمت في الأنودات الضحية في البيئة البحرية. ولكن وجود أنودات الألومنيوم استبدل كمية كبيرة من الزنك في مياه البحر ، أما بالنسبة للخطوط المدفونة ومكونات المنشأ الموضوعة تحت خط الطمي (Mudline) فإن الزنك مازال المحبب في الاستخدام. كذلك فإن الزنك مازال هو الأنود المستخدم في الأغراض البحرية والتي تكون بدن السفينة. الألومنيوم يعتبر مادة أنود جديدة نسبياً ولكن نظراً لقلّة تكلفته مقارنة بالمغنسيوم والزنك دفع به إلى الاستخدام بعيداً عن الشاطئ في مياه البحر. خصائص الكفاءة لأنودات الألومنيوم هي مرتبطة بكمياء السبائك وبيئة الاستخدام. ولكن لسوء الحظ فإن كثيراً من سبائك الألومنيوم رغم صلاحيتها كمادة أنود إلا أنه فشل مع استمرار الاستخدام. من بين 30 - 35 أنودات الألومنيوم التي دخلت السوق منذ عام 1960 حتى الآن ، فإن أكثر من نصفها اختفى من التجارة لأسباب فنية.

## أ- أنودات المغنسيوم :

جهد نصف الخلية النظرية للمغنسيوم بالنسبة لمقياس الهيدروجين القياسي هو -2,37 فولت (-2.61 فولت بالنسبة لقطب كبريتات النحاس القياسي SCE). ولكن الجهد المقاس العملي لأنود المغنسيوم هو أكثر ندرة (More Noble). أنود المغنسيوم طبقاً للمواصفات رقم AZ63A (به 6% ألومنيوم، 3% زنك) له جهد -1.48 فولت بالنسبة لقطب كبريتات النحاس بينما الأنود ماركة (Galvomag) به مغنسيوم نقي محتوياً على 0.9 - 1.2% منجنيز مضاف وملوثات قليلة وله جهد محول -1.68 فولت.

بصرف النظر عن الاختلاف الكبير الملاحظ بين الجهود النظرية والمقاسة للمحلول، فإن أنودات المغنسيوم عموماً لها كفاءة تيار أقل من الأنودات الجلفنية الأخرى. الخرج النظري للتيار من أنود المغنسيوم هو حوالى 2200 أمبير ساعة/كيلو جرام (1000 أمبير ساعة/الرطل). الكفاءة العملية الملاحظة للتيار نادراً ما تزيد عن 50 - 60%، وهذا مقارنة بأنود الزنك والألومنيوم حيث لهم كفاءات تيار أحسن من 90%. عملياً أنود الزنك فى ماء البحر له قدرة حوالى 760 أمبير ساعة/كيلو جرام (760 Ah Kg-1) وسبيكة الألومنيوم لها أكثر من 2500 أمبير ساعة/كيلو جرام.

## أنودات التيار التأثيرى :

## مقدمة :

القرار حول مقاومة التآكل بطريقة التيار التأثيرى للحماية الكاثودية حيث التنفيذ يبدأ بتصميم النظام يلى ذلك الاختيار لمواد الأنود ، وذلك من بين الأنواع الكثيرة لأنودات التيار التأثيرى المتاحة حالياً بالإضافة إلى ما يستجد منها. ولكن قد يكون الاختيار واضحاً فمثلاً لا يوجد بديل أفضل من أنودات التيتانيوم المغطاة بالبلاطين (Platinized - titanium) للاستخدام عند الكثافات العالية للتيار الكهربى فى البيئة البحرية. فى معظم الحالات الأخرى يكون الاختيار متاح. قد توجد عوامل مؤثرة مثل توفر المادة ، الوزن ، الحجم ، التكلفة ، درجة المخاطرة فى الاستخدام ، عمر الخدمة المطلوب وقبل كل شئ الخبرة السابقة. تم وضع خطوط إرشادية فى ظروف متعددة



طبقاً للجدول في آخر الفصل. أنودات التيار التآثري يمكن تقسيمها باختصار إلى ثلاث مجموعات كالآتي:

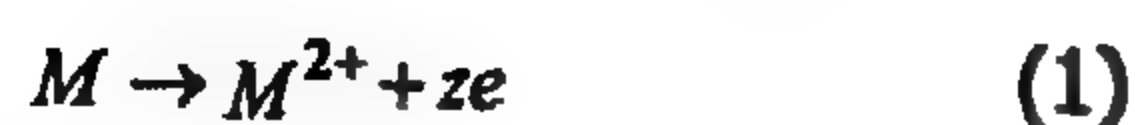
نوع الأنود	من الأمثلة التي تشمل	معدل الاستهلاك التقريبي		التكلفة بالجنيه الاسترليني للطن (1984)
		معدل أمبير ساعة	معدل أمبير عام	
نشط ويتآكل أو شبه متآكل (مستهلك)	الحديد الألومنيوم	جرامات	9-10 كجرام (20 - 22 رطل)	منخفض مئات أو أقل
مناعة جزئية أو شبه مستهلك	رصاص حديد سيليكوني ماجنييتين Magnetite جرافيت	جرامات مليجرامات	1.4 كجرام 0.5 كجرام	بضعة مئات
مناعة كلية أو لا يستنفذ (لا يتآكل)	بلاتين	ميكرو جرامات	6 ملجرام	1000 جنيها للكيلو

في حالة مقارنة الفقد في الوزن للأمبير ساعة  $\times$  الثمن فإنه سوف لا توجد أي من هذه المواد يحقق اختيار اقتصادي عن الآخر. الاختيار يتوقف بدرجة كبيرة على معدل التآكل لمجال لملاصق معين ، وتجميع الظروف يمكن أن يوضح خواص وتحمل أنود معين.

حيث أن أنودات الرصاص تصبح غير موصلة في المياه العذبة، الأنودات المغطاة بالبلاتين قد تعاني من زيادة معدل الإذابة في حالة البيئة المالحة المحتوية على ملوثات عضوية، فإن الموقف يصبح شديد التعقيد مع الحاجة لوجود خبرة كبيرة مع العمل على المراجعة المستمرة. ولكن تتساوى الأهمية في حالة توفر المادة بالنسبة لكثافة التيار المستمر للاستخدام وتوفر مصدر التيار.

#### المبادئ العامة:

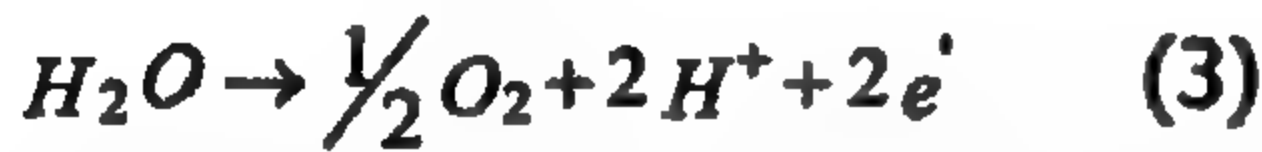
إذا كانت الحماية الكاثودية للصلب باستخدام الأنودات الضحية من المغنسيوم أو الألومنيوم أو الزنك حيث منها تنتقل الشحنة الموجبة في الحال إلى الصلب ، فإنه يمكن توضيح التفاعل الأنودي الأول بالآتي :



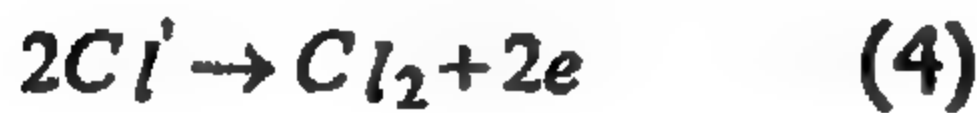
إذا كانت المياه في المجال المتعادل للرقم الهيدروجيني، فإن كاتأيون المعدن سوف يكون غير مستقر حيث يتحلل (Hydrolysed) مع تكون إيدروكسيد المعدن (أو الأكسيد المائي) والبروتونات كآلاتي:



مع نظام التيار التأثيرى ، فإن انتقال الشحنة السالبة من الأنود إلى الكاثود ليس فورياً ويتم باستخدام الطاقة الكهربائية من مصدر خارجى للتيار. نظرياً، أى موصل كهربى معدنى أو غير معدنى يمكن أن يستخدم كآنود لهذا الغرض حيث يتراوح ما بين المعادن النشطة مثل الحديد ، الزنك ، والألومنيوم إلى المعدن الخامل مثل البلاتين. فى المياه الخالية من التركيزات المرتفعة نسبياً من أيونات الكلور فإن التفاعل الأنودى السائد عند القطب الخامل نسبياً سيكون تصاعد الأكسجين وتكوين البروتونات



فى الواقع فإن البروتون سوف يتمياً ( أى  $H_3O^+$  ). وسوف نرى أن هذا مهم فيما بعد. وكذلك فى حالة وجود تركيزات صغيرة من أيون الكلور (أقل من 200 جزء فى المليون) فإن التفاعل الأنودى الإضافى سيكون أكسدة أيون الكلور إلى غاز الكلور.



مقارنة بحامض الهيدروكلوريك (HCl) فإن حامض الهيبوكلورس سيتحلل قليلاً فقط أيونات  $(Cl^-)$  ،  $(H^+)$  من الواضح أن المعادلات من (2) إلى (6) سوف تعمل على خفض الرقم الهيدروجينى (pH) للمحلول القريب من الأنود (الأنوليت Andyte) ولكن فى معظم الظروف البيئية فإن هذا سيلغى بسبب الظروف الغير مستقرة والخلط مع كتلة الماء.

### الاعتبارات الدينامية الحرارية والحركية

من المهم اعتبار الديناميكا الحرارية والحركية لتصاعد الأكسجين والكلور (المعادلة (3)، (4) حيث أن ذلك مهم بالنسبة لاختيار الأنود والمعدل الذى يمكن أن يعمل به. العوامل الهامة سوف تكون الرقم الهيدروجينى للمحلول (pH)، تركيز أيون الكلور  $(Cl^-)$ ،

وجهد القطب عند الأنود وانتقال المادة للتفاعلات (Reactants) والمنتجات. رغم أن الرقم الهيدروجينى لمعظم المياه الطبيعية سيكون فى المجال المتعادل فإن ذلك لا ينطبق على الرقم الهيدروجينى عند سطح القطب (Electrode)، وحيث الرقم الهيدروجينى عند الكاثود سوف يميل إلى الزيادة فإن العكس سيكون عند الأنود وخاصة عند حدوث تصاعد للأكسجين (المعادلة "3").

من ناحية الدينامية الحرارية فإن تصاعد الأكسجين فى محلول عند رقم هيدروجينى 7 سوف يبدأ عند جهد يقدر بالآتى :

$$E = 1.23 - (7 \times 0.059)$$

أى بالنسبة لقطب الهيدروجين  $E_{O_2 / H_2O} = 0.82 \text{ V (SHE)}$

وتصاعد الكلور عند  $E_{Cl_2 / Cl'} = 1.34 \text{ V}$

من المفترض أن نشاط أيونات الكلور (Cl) وغاز الكلور (Cl<sub>2</sub>)  $I =$  وهذا يعنى أنه عند استخدام قطب حامل مثل البلاتين كأنود فى مياه متعادلة تحتوى على وحدة نشاط من أيونات الكلور (Cl)، فإن تصاعد الأكسجين (O<sub>2</sub>) عند معدل منخفض جداً سوف يبدأ عند الجهد المعكوس وهو 0.82 فولت، ومع زيادة المعدل عندما يكون الجهد أكثر إيجابية (More Positive). تصاعد الكلور سوف لا يتم حتى 1.34 فولت، بعد هذا الجهد كلا من الكلور والأكسجين سوف يتصاعد فى نفس الوقت، معدل الأكسجين سيكون أكبر من الكلور. ولكن هذه الاعتبارات لا تشمل العوامل الحركية مثل طاقة التنشيط (Activation Energy) لانتقال الإلكترون من المحلول إلى القطب (الجهد الزائد للتنشيط) وانتقال كتلة عناصر التفاعل (H<sub>2</sub>O , Cl) إلى القطب ونواتج التفاعل (H<sup>+</sup>, Cl<sub>2</sub> , HOCl) بعيداً عنها.

بسبب الاعتبارات الحركية فإن تصاعد الكلور عند قطب البلاتين يحدث فقط بالجهد الزائد حتى عند التيار المستمر العالى، بينما تصاعد الأكسجين بمعدل كافى يتطلب جهد عالى ضخ (Large Over potential) حوالى 0.5 إلى 0.7 فولت أو أكثر. وكذا على عكس التوقع الدينامى الحرارى، حتى فى المياه الحمضية قليلاً (متوسطه الملوحة - Brakish)، فإن تصاعد الكلور سوف يحدث على حساب تصاعد الأكسجين ويكون هو

التفاعل السائد، شريطة أن معدل هجرة أيونات الكلور (Cl) إلى سطح القطب

يكون سريعاً بما يكفي لمنع الجهد الزائد بالتركيز الضخم. في مياه البحر المفتوحة، التركيز العالي لأيونات الكلوريد وصغر تنشيط الجهد الزائد لأيون الكلور إلى غاز الكلور  $Cl \rightarrow Cl_2$  يعنى أن التيار المستمر 1000 أمبير/ المتر المربع أو أكثر يمكن أن يستخدم على سطح البلاتين عند جهود فقط 2 - 2.5 فولت (بالنسبة لقطب الهيدروجين القياسي - SHE). على الجانب الآخر في حالة إعاقة انتقال أيون الكلوريد إلى سطح القطب فإن تركيزه يمكن ينخفض إلى حد أن تصاعد الأكسجين يكون هو التفاعل السائد، وهذا سوف ينتج عنه انخفاض أكثر في الرقم الهيدروجيني عنه في حالة أن يكون تصاعد غاز الكلور هو السائد. هذا التكون للحموضة، والذي يحدث فيما بعد سوف يقلل بوضوح معدل التآكل للبلاتين.

الإتزان العكسى على البلاتين للكلور  $Cl + 2e' \rightleftharpoons Cl_2$  وعلى الأكاسيد مثل ( $PbO_2$  ,  $IrO_2$  ,  $RuO_2$ ) يعتبر بوضوح فائدة ويعنى أن هذه الأنودات يمكن أن تعمل عند تيار مستمر عالى. على الجانب الآخر، مع نظام القطب / المجال الملاصق، حيث تصاعد الأكسجين هو التفاعل الأنودى السائد، فإن الجهد الزائد وانخفاض (IR) سوف يكون كبيراً، وهذا يعنى أن العمل عند تيار مستمر عالى يمكن فقط مع استنزاف طاقة كهربائية كبيرة. فى هذه الظروف يكون العمل عادة عند تيار مستمر منخفض واستخدام مساحات كبيرة للأنود للحصول على الخرج المطلوب.

### خواص الأنودات :

يوجد عدد كبير من المواد المعدنية أو الغير معدنية الموصلة أو الشبه موصلة للكهرباء ، ولكن من بين هذه المواد فإن قليلاً منها هو المناسب للاستخدام كأنودات فى نظم التيار التأثيرى. من هذه المواد الكثيرة التى تتآكل وغير مكلفة الحديد الخردة والصلب وكذلك المواد مرتفعة التكلفة وخاملة ولا تتآكل مثل البلاتين، لذلك فإنه يتضح أن الاختيار للمادة لاستخدام معين يتوقف على عدة اعتبارات، وخاصة الظروف البيئية والتكلفة ومادة الأنود يجب أن يكون لها الخواص التالية:

• انخفاض معدل التآكل بصرف النظر عن طبيعة البيئة أو نواتج التفاعل المتكونة بأكسدة الأنود.



- انخفاض الاستقطاب للأنود، بصرف النظر عن تفاعل الأنود.
- التوصيل الكهربى الجيد، وانخفاض المقاومة للإلكتروليت/ الأنود.
- الاعتماد عليه بدرجة عالية.
- قوة ميكانيكية كافية ومقاومة التلف أثناء الإنشاء والصيانة للمنشأ، والاجهادات التى يتعرض لها أثناء الخدمة.
- مقاومة الاحتكاك البرى.
- انخفاض التكلفة مقارنة بالمكون العام للحماية .
- سريع التصنيع إلى أشكال مختلفة.

البلاتين المعدن الذى له مناعة عالية ضد التآكل، وتقريباً له صفات الأنود المثالى ولكن تكلفته مرتفعة. رغم أن ذلك يمكن خفضه كثيراً باستخدام البلاتين كطبقة تغطية رقيقة على التيتانيوم أو النيوبيوم (Ti, Nb) ، فإنه يكون اقتصادى فقط فى حالة استخدام عند تيار مستمر مرتفع، كما فى حالة (كمثال) مياه البحر المفتوح حيث انتقال أيونات الكلوريد إلى ونواتج التفاعل بعيداً عن السطح يحدث بسرعة. على الجانب الآخر عندما تكون الظروف البيئية متوافقة مع المعدلات العالية على وحدة المساحة لسطح الأنود (كثافة التيار) ، فإنه يكون من الناحية الاقتصادية بالنسبة لمادة الأنود والطاقة الكهربائية استخدام مواد رخيصة ومنخفضة القيمة الشرائية ذات مساحة سطحية ضخمة تعمل عند كثافة تيار منخفضة. هذا الموقف يكون سائداً فى كثير من أنواع التربة حيث التفاعل الأولى الأنودى يكون الأكسدة للماء إلى الأكسجين، وفى حالة انخفاض المحتوى من الماء فإن انخفاض معدل انتقالها إلى سطح الأنود سيعمل على الحد من معدل هذا التفاعل. توجد طرق كثيرة لتصنيف مادة الأنود.

#### المواد المستنفذة

#### أ- المعادن الحديدية :

خردة معدن الحديد ، الألومونيوم وسبائكهم والزنك ثم استخدامهم فى وقت ما كأنودات فى نظم التيار التآثري ولكن حالياً تم استبدالهم بأنودات من مواد يعتمد عليها، تفاعل الأنود السائد ينطبق على المعادلة رقم (1). ذلك رغم أنه فى ظروف معينة ومع مواد معينة سوف يكون هناك مناعة جزئية وبالتالي تصاعد غاز.

فى حقول الغاز الطبيعى وزيت البترول فى عام 1930 كان الحديد الخردة ومواسير الصلب هى المادة كثيرة الوفرة والمنخفضة السعر والتي يمكن تصنيعها بسرعة فى شكل أنودات ضخمة وذلك بلحام الأطوال مع بعضها وربط كابل توصيل. ولكن بسبب الطول الكبير للطبقة الأرضية فلقد كان هناك فرق واضح فى الجهد ما بين مساحة نقطة الاتصال والنهايات بما نتج عنه تآكل تفضيلى على الأول والذي يؤدى إلى انفصال الكابل، وتم التغلب على ذلك بتوفر عدة نقط للاتصال وتغطية المعدن المجاور بمادة عازلة. مشكلة أخرى. هى أنه فى البيئة تحت سطح الأرض فإن نواتج التآكل للحديد تعمل على رفع مقاومة الاستقطاب (Polarization Resistance) ولكنه وجد أن ذلك يمكن خفضه كثيراً وذلك بإحاطة الأنود بمادة تحشيه كربونية (Carbonaceous back fill) موزعة ومدموكة بانتظام حول الأنود لتأكيد تجانس الإذابة عند كل مساحات الحديد. هذه المشكلة طبيعى ألا تحدث فى المياه الطبيعية ذات ملوحة عالية التى فيها نواتج التآكل لا تبقى على سطح المعدن. معدل الاستهلاك الفارادى للحديد لتكوين (Fe+2) المعادلة (6) هو 9.13 كيلو جرام/ أمبير × العام، والقيمة المتحصل عليها فى مجالات بيئية مختلفة أظهرت أنها أكثر من هذه القيمة فى معظم المياه وخاصة مياه البحر، أظهرت أن الكفاءة أقل من 100%. ولكن فى التربة فإن القيم تكون منخفضة مثل 8.4 كيلو جرام/ أمبير فى العام والتي تم الحصول عليها باستخدام الصلب الخردة بسبب تكون طبقة تغطية غنية بالكربون والتي وفرت الاستقطاب الجزئى. أثناء التآكل يحدث تحول جرافيتى للحديد الزهر والسطح الغنى بالكربون يكون موصل للمناعة (passivation) وتساعد الغاز بحيث أن معدل الاستهلاك يمكن أن يقل كثيراً عن النظرى. بالإضافة إلى المواسير الخردة فقد استخدمت معادن حديدية أخرى مثل قضبان السكك الحديدية، الخوازيق، المراكب، الزوارق الكبيرة ... الخ. وهى مازال استخدامها محدود فقط فى حماية الدعائم من الصفائح المعدنية (Sheet piles) وتسقيطها.. الخ وذلك فى المياه الطبيعية باستخدام الأنود البعيد عن الشاطئ. لقد وصف (Peabody) استخدام الأنود الأرضى فى البئر العميق (Deep well ground bed) المستنفذ باستخدام أطوال من ماسورة الصلب ملحومة معاً للاختراق إلى العمق المطلوب حيث الجزء العلوى مغطى بحيث أن خرج التيار يكون محدوداً بالنسبة

للجزء السفلى. إعادة النشاط للأنود يتم تنظيف فتحة الماسورة لإزالة المواد التي قد تكون دخلت خلال الثقوب ثم توصيل طول آخر من الماسورة بأقصى قطر أقل قليلاً من القطر الداخلى للماسورة القديمة. التوصيل للماسورة يتم عند الطبقة الأرضية، ولتأكيد الاستمرار الكهربى لكل مقطع الأنود فإنه يتم لحام طول من قضيب من النيكل باستمرار على طول الماسورة من القمة إلى القاع.

#### المعادن الغير حديدية :

طريقة أخرى فى استخدام الألومنيوم والتي كانت مثل الأنود المتدلى البعيد الذى يستبدل باستمرار لحماية بدن السفن. حيث كان يتم وضع لفافة ذات قطر 6 ملليمتر من الألومنيوم محملة على مؤخرة السفينة (أو السارى) ثم يتم فكها بحيث يظل 10 متر مغموراً فى البحر وهذا كان يتم استقطابه عند 350 أمبير/المتر للمربع وعند 9 فولت. لقد كانت هناك مصاعب متعددة مع هذا النظام وهو قد توقف استخدامه.

#### الموصلات الضخمة الغير معدنية :

#### الموصلات من خام الماغنيتيت :

الماغنيتيت هو خام طبيعى يوجد فى مناطق كثيرة من العالم. ورمزه الكيماوى هو  $(Fe_3O_4)$  ويسمى كذلك أكسيد الحديد المغناطيسى. التوصيل الكهربى له هو  $(1,25 Sm^{-1})$  المقاومة  $(0.8 \Omega m)$  بسبب انتقال الاليكترون من الكايأيونات المجاورة ذات شحنات مختلفة  $(Fe^{2+} \rightarrow Fe^{3+} - e)$ . منخفض التوصيل الكهربى مع زيادة درجة الحرارة. أنودات أكسيد الحديد المغناطيسى غير عادية فى أنها الأنودات الوحيدة التى تتكون فقط من أكسيد المعدن وهى تصنع فى السويد. نقطة انصهار أكسيد الحديد المغناطيسى  $(1540^\circ M)$  ولكن عملية السبك (Casting) تشكل صعوبة فى تنفيذها وهى تتم بإضافة كميات صغيرة من العناصر السبائكية (Alloying Elements) واستخدام تقنيات خاصة للسبك. بسبب توصيلها المنخفض نسبياً فإن الأنود يتم سبكه كاسطوانة مفرغة بقطر خارجى 60 ملليمتر وسمك الجدار 10 ملليمتر ومقولة من نهاية واحدة. وبهدف تأكيد تجانس كثافة التيار على السطح فإن كل السطح الداخلى يتم تغطيته بطبقة من النحاس،



وكابلات الأنود الملحوم مع سطح النحاس بسبيكة لحام (Soldered) يلتصق بلوح النحاس عند 100 ملليمتر أسفل قمة الأنود. للجزء المركز الداخلى (Central portion) يملأ بمادة البولى استيرين (Polystyrene) وباقى الفراغ المحيط ما بين البولى سيترين وداخل الأنود يملأ براتنج الإيبوكسى. ولقد تم تعليل أن الغرض من البولى استيرين هو احتواء التغيرات فى الحجم فى الراتنج نتيجة للتغيرات فى درجة الحرارة للبيئة، وبذا يتم تجنب اجهادات الشد العالية للماجنيتيت. هذا التصميم قد يكون بسبب مقاومة التشقق عند تعرض الأنود لدرجات الحرارة المرتفعة والمنخفضة. وهذه الأنودات تستخدم الآن لحماية المنشآت المدفونة تحت الأرض والمغمورة فى الماء والذى يتراوح ما بين ماء الشرب العذب إلى الماء المالح.

أنودات الماجنيتيت تعمل عند كثافة تيار منخفضة والاختبارات فى ماء البحر عند 30 إلى 190 أمبير/المتر المربع أظهرت أن الفقد فى الوزن زاد من 1.4 إلى 4 جرام/الأمبير × العام مع زيادة كثافة التيار فى هذا المجال؛ يوصى لفترة استخدام 20 عام فإن كثافة التيار يجب ألا تزيد عن 115 أمبير/المتر المربع. سلبيات هذه الأنودات هى القسافة (Brittleness) مقارنة بسبائك الحديد على السيليكون بما يجعلها قابلة للكسر عند الاصطدام، وكذلك الاستعداد للتشقق عند التعرض لدرجات الحرارة المرتفعة والمنخفضة. وهى لها أكسجين فوق فولتى منخفض ولكن كلوريد فوق فولتى عالى جداً (Over voltage).

### المواد الكربونية :

أنودات الكربون استخدم فى تحلل المياه منذ القرن التاسع عشر، وفى عام 1932 تم عمل عدة محاولات على الأنودات للحماية الكاثودية حيث استخدم فيها الصلب، الكربون الصلب وقلب من الصلب محاط بكربون مدكوك، الكوك والكولتار ثم مقارنتهم فى البيئة تحت الأرض. بعد ستة أشهر وجد أن الصلب المدفون مباشرة فى التربة أو فى التربة/الفحم (Coal) قد تم تأكله بشكل كبير، بينما الصلب الموضوع فى الكربون أو الكوك كان التلف به قليل. ولقد كان هذا سبباً لمبدأ هام نحو استخدام طبقة أرضية مكونة من أنود موصل مستنفذ أو غير مستنفذ، مدفوناً فى كتلة من الكربون أو الكوك. هذه الأنودات



كانت أول أنودات دائمة لاستخدام ذات عمر مفيد أضعاف المرات ذلك للحديد أو الصلب الخردة.

الجرافيت الذى تفوق الآن على الكربون الأكثر مسامية والأقل فى الاعتماد عليه، وجد أنه خامل بطريقة مدهشة عندما يكون تفاعل الأنود مع تصاعد الكلور، كما يحدث فى حالة المياه المحتوية على الكلوريد. ولكن فى الظروف البيئية حيث تصاعد الأكسجين هو التفاعل السائد، فإن الجرافيت يتأكسد ببطء إلى ثانى أكسيد الكربون، رغم أنه فى هذا المجال يكون أكثر مقاومة للتآكل عن الكربون.

يجب ملاحظة أن الكربون يتكون من بلورات غير منتظمة ولكن عند تسخين الكربون (عادة فى شكل فحم نباتى مسحوق (Anthracite) أو كوك البترول ... الخ) مع الرمل عند درجة حرارة مرتفعة جداً فى فرن كهربى فإنه يتحول إلى الشكل البلورى، الجرافيت، أى إلى جزئ كبير له بعدين متكوناً من صفائح من سداسيات منتظمة مفصولة بمسافة 0.34 نانومتر (0.34 nm). فى هذه العملية يحدث تغير فى الخواص الطبيعية حيث تزداد الكثافة من 1440 - 1600 كجرام/م<sup>3</sup> للكربون إلى 1600 - 1700 الجرام/م<sup>3</sup> للجرافيت الكهربى (Electrographite) وتنخفض المقاومة من  $10^{-4} \times 3 - 10^{-4} \times 1.3$   $\Omega$  متر إلى  $10^{-5} \times 3 - 10^{-6} \times 8$   $\Omega$  متر. رغم أن الجرافيت كثافته أعلا من الكربون إلا أنه عالى المسامية حيث له مساحة سطحية تساوى 0.5 متر مربع/ الجرام، والتي تزداد إلى أربعة أضعاف وذلك بتفتيح الثقوب العمياء بالأكسدة. الغاز الناتج أنودياً أسفل السطح الخارجى وعند أسطح الثقوب الداخلية سينتج عنه تلف ميكانيكى وكيمائى وليونه للسطح. لهذا السبب فإن الجرافيت يتم نقه مع مادة عازلة مثل المواد الشمعية، الزيوت (مثل زيت بذر الكتان) وكذلك الراتينجات الطبيعية والمخلقة والتي تقلل من اختراق الإليكتروليت وكذلك تزيد من القوة الميكانيكية. حتى مع هذه المعالجة، فإن عمليات القطب (Electrode) تحدث عند عمق 0.5 متر أسفل سطح الأنود، وبسبب المساحة السطحية الضخمة فإن كثافة التيار الحقيقية هى فقط حوالى 25% من تلك المبنية على المساحة الهندسية. عموماً يزداد تلف الجرافيت مع انخفاض التركيز لأيون الكلوريد (Cl) وذلك بسبب التفاعل السائد لتصاعد الأكسجين وبالتالي أكسدة كلاً من مادة الربط والجرافيت

إلى ثانى أكسيد الكربون. ولقد ثبت أن زيادة التلف تزداد مع زيادة مقاومة الماء إلى 30 Ω متر، وأعلى من هذه القيمة فإن المعدل يظل ثابتاً غالباً بسبب أن تساعد الأكسجين أصبح التفاعل السائد. النقع يقلل من التلف في هذه المحاليل عالية المقاومة بحوالى 20% وهذا التحسن يزداد مع زيادة المقاومة وخفض كثافة التيار. يتضح مما سبق أن الجرافيت أدائه يكون ممتاز في مياه البحر، رغم أنه في حالة المياه للمتدفقة بسرعات عالية، فإن معدل تلفه يزداد بسبب إزالة حبيبات السطح بفعل الاحتكاك، كذلك فإن معدل البلى (Wear) يزداد مع انخفاض الرقم الهيدروجيني وزيادة تركيز أيون الكبريتات. لا يوصى باستخدام الجرافيت في النظم المقفلة نظراً لأن ترسيب الحبيبات المنفصلة يمكن أن يؤدي إلى خلايا جلفنية محليه، وكذلك لا يستخدم في مياه درجة حرارتها أعلى من 550 حيث يزداد مع الاستهلاك سريعاً. الجدول (13/1) يوضح معدلات الفقد وكثافة التيار في مختلف المجالات. معدل الاستهلاك النظري لأكسدة الجرافيت إلى ثانى أكسيد الكربون هو 0.98 كيلو جرام/الأمبير × العام، ولكن عملياً لا يتم هذا حيث تتراوح المعدلات ما بين 0.05 إلى 0.2 كيلو جرام/الأمبير × العام.

جدول (13/1) كفاءة الجرافيت

المجال	معدل الفقد كجرام/الأمبير × العام	كثافة التيار أمبير/المتر المربع
مادة الملىء	0.9	0.8 >
ماء ساخن	0.9	-
مياه البحر	0.045	10,7 4.3
مياه البحر	قليل	10.8 >
ماء عنب	0.45	3.5
ماء عنب	0.45	2.7
طمي	1.36	32.4

يمكن تلخيص سلبيات الجرافيت كالاتى :

• كثافة تيار للتشغيل منخفضة لتجنب الاستهلاك العالى للأنود.

- تلف كابل الأنود أو رقبة الأنود القريبة من وصلة نهاية الكابل.
- مخاطر التآكل الموضعي بترسب مواد الأنود المفككة على سطح الصلب (حيث أن الجرافيت يكون موجب أكبر كثيراً من جهد الصلب).
- القصافة أو الهشاشة واحتمال التحطم أثناء الإنشاء أو في الظروف البيئية حيث يمكن التعرض إلى صدمة ميكانيكية كما في حالة البيئة البحرية بفعل أمواج المياه ، والمخلفات العالقة، سلاسل الربط والاصطدام مع القوارب الصغيرة.
- خاصية الليونة التي تحد من استخدام الجرافيت كأنودات حيث يمكن أن تتعرض للتآكل الحبيبي ، بالبرى ، أو بالاصطدام عند التداول والنقل، وفي حالة الأنودات البعيدة في مجارى المياه عالية التدفق.

#### مواد الردم الكربونية :

مواد الردم الكربونية تشمل مختلف أنواع الكوك المنتج من الفحم (Coal)، القار (Pick of cokes – tars) والبتيومين (كوك البترول) وحبيبات الجرافيت (جرافيت طبيعي أو كهربى (Electrographite) من بين هذه فإن الأكثر استخداماً هو رماد الكوك (Coke Breeze) ورماد كوك البترول (Petroleum coke breeze). الجدول (13/2) ، (13/3) يوضح بعض خواص هذه المواد. كل مواد الردم هذه تحتوى على حتى 95% كربون ولها مقاومة كهربية أقل كثيراً من مقاومة التربة. للغرض من هذه المواد هو خفض المقاومة للأنود / التربة وكذلك توفير مخرج لغازات الأنود والتي في حالة احتجازها عند ملاصقة الأنود للتربة سينتج عنه زيادة كبيرة فى المقاومة، زيادة فى طاقة التيار (Current capacity) بالزيادة الكبيرة فى مساحة الأنود لزيادة عمر الاستخدام للأنود. الخواص المحددة لإجمالى التيار المنتج بالأنود (ربما يكون شرحه أفضل فى الموصلات) ومواد الردم غر معروفة وهى تتوقف على نظام الأنود/ الردم (Anode Back fill). الخواص الأكثر أهمية لمواد الردم الكربونية يمكن تلخيصها كالتالى:

- المقاومة المنخفضة لالتصاق الأنود/ التربة.
- التوصيل الكهربى العالى.
- حجم حبيبات مناسب لتسهيل خروج الغاز والتوصيل الجيد.

- المقاومة الجيدة لنواتج الآتود.
- انخفاض المقاومة للحبيبات الملاصقة للسطح.

الكثافة كجرام /م <sup>3</sup>			مادة الردم
800	650		تراب الكوك المحمص
1100	700		حبيبات كوك البترول المحمص
1200	100		حبيبات الجرافيت الطبيعي
1300	1100		جرافيت كهربى مطحون
رطب	مدموك	جاف	المقاومة $\Omega$ متر
0.15	0.45	0.55	كوك الفحم
2.0	1.2	1.5	حبيبات الجرافيت

جدول (13/2) الكثافات والمقاومات لمواد الردم

100%	المرور خلال المنخل 15 ملليمتر
85%	المرور خلال المنخل 10 ملليمتر
15% كحد أقصى	المرور خلال المنخل 5 ملليمتر
3.25 كحد أدنى	مواد متطايرة
78% كحد أدنى	كربون ثابت
19% كحد أقصى	رماد
1.2% كحد أقصى	كبريت
$5.5 \times 10^{-1} \Omega$ متر كحد أقصى	المقاومة

جدول (13/2) مواصفات كوك الفحم

من المعادلة (3) حيث الأكسجين المتصاعد ينتج عنه تكون بروتون مائي  $H_3O^+$  وبالتالي انخفاض فى الرقم الهيدروجينى ، وكلا هذين يمكن أن يكون له تأثيرات خطيرة. هجرة  $H_3O^+$  بعيداً عن الطبقة الأرضية تمثل فقد فى الماء وزيادة فى المقاومة غير مرغوبة، والذي يمكن منعه بتأكيد أن الطبقة الأرضية موضوعة أسفل خط المياه. طريقة



أخرى هى بإضافة مواد قلابة وهى عادة الجير المطفى لمعادلة الحامض وبالتالي انخفاض تركيز  $H_3O^+$ .

تصميم الطبقات الأرضية الضحلة الرأسية والأفقية والبئر العميق تم تناوله تفصيلاً فى بعض المراجع العلمية (أنظر المراجع).  
4- المعادن والسبائك متوسطة المناعة :

#### (Partially passive metals and alloys)

هذه السبائك تحتوى على من 14 - 18% سيليكون وتسمى الحديد عالى السيليكون (High silicon iron) وهى تختلف عن السبائك 4 - 10% سيليكون المستخدمة فى مقاومة الأكسدة عند درجات الحرارة العالية.

سبائك الحديد عالى السيليكون لها مقاومة عالية للتآكل بالأحماض، ويرجع هذا إلى تكون طبقة حماية محتوية على نسبة عالية من  $SiO_2$  المائى ( $Hydrated\ SiO_2$ ) حيث خاصية الحماية الكاملة للطبقة لا تكتمل إلا فى حالة محتوى السبيكة من السيليكون. 14.5%. ولكن قبل تكون هذه الطبقة فإنه يتم تآكل للسبيكة، حيث أن معدل التآكل الأولى يكون مرتفعاً ولا يصل إلى حالة الثبات إلا بعد عدة ساعات. نظراً لأن ( $SiO_2$ ) يذوب فى القلويات ويكون السيليكات، فإن السبائك تكون مقاومتها الكيماوية للمحاليل القلوية ضعيفة. لقد استخدمت هذه السبائك كأنودات فى الخلايا الاليكتروليتيه منذ عام 1912، ولكن منذ عام 1952 أثبتت الأبحاث استخدام هذه الأنودات فى نظم الحماية الكاثودية بالتيار التآثيرى (Impressed current). الأبحاث العملية كانت مشجعة وأظهرت أن معدل التآكل فى المياه العذبة وفى المياه المالحة عند كثافة تيار 10 أمبير/ المتر المربع كان صغيراً جداً. كما تم التوصل إلى نتائج واعدة عند استخدامها للطبقات الأرضية مع مادة الردم الكربونية. لقد أعدت الرابطة الدولية لمهندسى التآكل (NACE) عدة تقارير عن كفاءتها خلال عدة مجالات بيئية فى الفترة من 1954 - 1960. المنافس الرئيسى كان الجرافيت حيث تم اكتشافه بواسطة اختبارات (NACE) أنه رغم تفوق الحديد عالى السيليكون على الجرافيت فى المياه ذات المقاومة للمالحة ذات المقاومة أقل من 0.5  $\Omega$  متر، إلا أن (NACE) أثبتت أن إضافات صغيرة من المولبدنيوم (1-3%) كان له تأثير فى المحافظة على طبقة الحماية من الأكسيد وبذا انخفض التآكل التقبى فى المياه المحتوية على أكثر من

200 جزء في المليون من أيون الكلوريد. كمثال فإنه في حالة مياه البحر وعند كثافة تيار 10 أمبير/المتر المربع فإن إضافة المولبدنيوم عملت على خفض المعدل من 0.2 كجرام/الأمبير × العام وكذلك ظهر تحسن عند كثافة التيار الأعلى ودرجة الحرارة الأعلى. في عام 1959 تم استخدام حديد الكروم على السيليكون (HSCI – High Silicon chromium Iron) حيث أثبت أنه أكثر كفاءة وأقل تكلفة عن سبيكة المولبدنيوم لذلك فقد حل محلها في جميع الاستخدامات في مياه البحر وفي التربة. مكونات تلك السبائك موضح في الجدول (13/4).

جدول (13/4) مكونات سبائك الحديد عالية السيليكون (1)،

وسبائك حديد الكروم عالية السيليكون (2)

(2)	%	السبيكة المحتوية على المولبدنيوم %	(1)	%
14.5		14.5	14.5	
0.9		0.9	0.9	
0.7		0.7	0.7	
–		3.0	–	
4.5		–	–	
الباقى		الباقى	الباقى	

اختبارات المقارنة ما بين (HSI) , (HSCI) في ماء البحر عند 593م وعند 10.8 أمبير/المتر المربع أعطت معدلات لـ 8.4 و 0.43 كجرام/الأمبير × العام بالتتالي، ورغم أن قيمة (HSI) تقترب من تلك للصلب المطاوع إلا أن التآكل التقبي العميق الذى تكون في (HSI) كان أكثر خطورة عن التآكل المنتظم على الصلب. ولكن في حالة المياه العذبة ذات مقاومة أكبر من 10 Ω متر فإن معدل التآكل لـ (SHI) يكون أقل كثيراً نسبة إلى الصلب، وفي مجال رقم هيدروجيني 3-9 عند 10 أمبير/المتر المربع فإنه لا يزيد عن 0.12 كجرام/الأمبير × العام، ومع أدنى معدل عند رقم هيدروجيني 0.7 أقصاه عند رقم هيدروجيني 0.9 في المياه العذبة عند درجات حرارة أكبر من 55م تكون سبيكة (SHCI) مفضلة.

السبائك الغنية بالسيليكون لها استخدام كثير. في الطبقات الأرضية (Ground beds) كما يمكن أن تستخدم بمفردها أو مع الردم مع المواد الكربونية، وفي هذه الحالة الثانية فإن الخواص الكهربائية تشبه إلى حد كبير لهذه التي تتكون من أنود الجرافيت / مادة الردم الكربونية، ذلك لأن المقاومة العالية للاتصاق ما بين سبائك حديد السيليكون ومادة الردم الكربونية يتم تعويضها بالمقاومة المنخفضة لسبائك حديد السيليكون ( $10 \times 72 \Omega^{\text{متر}}$ ) مقارنة بتلك للجرافيت ( $10 \times 14 \Omega^{\text{متر}}$ ). كذلك يمكن استخدام بدون مادة ردم، رغم أن ذلك سوف ينتج عنه ارتفاع معدل الاستهلاك ومقاومة أكبر للتربة عن حالة استخدام مادة الردم - مثال المعدل يكون 25 كجرام/ الأمبير  $\times$  العام عند استخدامه منفرداً يكون المعدل 0.5 كجرام/ الأمبير  $\times$  العام عند استخدام مادة الردم. سبيكة (HSCI) مفضلة عندما تحتوي التربة على تركيز عالي من أيونات الكلوريد (Cl).

البحث الحديث الذي أجراه (Jacobs) وصف الاختبارات على أنودات الجرافيت، (HSCI) والماجنييت في الردم من تراب الكوك كطبقات أرضية في تربة ذات مقاومة منخفضة ( $9 \Omega^{\text{متر}}$ ) المحتوية على تركيز عالي من أيونات الكبريتات والكلوريد. حيث فشل الجرافيت خلال 1.5 - 3 عام عند كثافة تيار حوالي 5 أمبير/المتر المربع، بينما (HSCI) كان له عمر 4 - 8 سنوات عند 11 أمبير/المتر المربع. ولكن دراسات أخرى أجرتها شركة شل في بيئة مماثلة أظهرت أن (HSCI) كان غير مناسب حيث كان عمره عامين فقط. وجد أن الماجنييت أعطى كفاءة جيدة عند 43 أمبير/المتر المربع، كما بدا أنه اكتسب مناعة (Immune) للتآكل بأيونات الكلوريد ويتآكل قليلاً بأيونات الكبريتات ( $\text{SO}_4^{2-}$ ).

#### أنودات الرصاص/أكسيد الرصاص:

الأداء الأنودي للرصاص يتغير طبقاً لنوع محلول الإليكتروليت وجهد القطب لمحلول التلامس مع الرصاص (Pb solution interface). بالنسبة للرصاص ليعمل كأنود خامل، فإن الظروف يجب أن توفر تكون طبقة من  $\text{PbO}_2$  الموصل للكهرباء على سطح الرصاص. في المحاليل حيث للرصاص لا يكون أملاح قليلة الأذابة مثل محاليل النترات



والأسيقات فإنه سوف أنودياً إلى كاتايون الرصاص (Plumbous cations) طبقاً لحالة الاتزان.



في مثل هذا الجهد الاتزان القياسي حيث  $E^0 = -0.126V$  يوضح أن تفاعل الأكسدة هذا يحدث عند جهود منخفضة.

على الجانب الآخر محاليل الكبريتات بما فيها حامض الكبريتيك، فإن التفاعل الأولي سيكون تكون كبريتات الرصاص  $PbSO_4$  القليلة الذوبان. لذلك عند الاستقطاب الأنودي للرصاص عند تيار ثابت في محلول الكبريتات فإنه تتكون طبقة رقيقة من  $PbSO_4$  الغير موصلة على السطح، وهذه سوف تسبب زيادة في الجهد لطبقة التلامس (Interface) ما بين الرصاص/ المحلول إلى الحد الذي فيه يصبح الشكل المستقر هو  $PbO_2$  وليس  $PbSO_4$ ، حيث  $PbO_2$  له قدرة توصيل عالية وبذلك يعمل نظام  $Pb/PbO_2$  كأنود خامل. الأداء الأنودي للرصاص في محاليل الكلوريدات يتوقف على تركيز أيون الكلوريد وأن أيونات الأكسدة المسببة للمناعة مثل ( $HCO_3^{1-}$ ,  $CO_3^{2-}$ ,  $SO_4^{2-}$ ) الرقم الهيدروجيني وجهد الالتصاق ما بين الرصاص/ المحلول.

بالنظر إلى قدرة أيون الكلوريد في تلف طبقة الحماية، فإنه يلاحظ أن طبقة  $PbO_2$  الثانية يمكن أن تتكون في محاليل الكلوريدات. عند التركيزات المنخفضة لأيون الكلوريد وعند كثافة تيار منخفضة فإن الرصاص ( $Pb$ ) يتأكسد إلى أيونات الرصاص ( $Pb^{2+}$ )، والتي في هذه الظروف ستكون قادرة على الانتشار والهجرة بعيداً عن السطح حيث تصبح إذابة الرصاص غير معاقة. ولكن عند تركيزات عالية لأيون الكلوريد وكثافة تيار ثابتة ومرتفعة فإن معدل تكون أيونات  $Pb^{2+}$  عند سطح الرصاص ستكون مرتفعة بما فيه الكفاية لزيادة الإذابة ( $PbCl_2$ ) وهذه تتبلور على سطح المعدن. نظراً لأن  $PbCl_2$  غير موصل. تبلور  $PbCl_2$  على سطح الرصاص سينتج عنه جهد عالي جداً، وفي محلول 2 عيارى من كلوريد الصوديوم ( $2MNaCl$ ) يمكن أن يصل إلى قيمة مرتفعة حتى 50 - 70 فولت.



- تكون طبقة مناعة ملتصقة من  $PbO_2$  على الرصاص عند استقطابه أنودياً في محلول كلوريد مثل (0.5 MNaCl) أو في المياه الطبيعية مثل مياه البحر يمكن تحقيقه بطريقتين
- سبائك الرصاص مع معدن آخر مثل الفضة.
- استخدام ميكرو اليكترود موصل وخامل على سطح الرصاص مثل البلاتين.

### سبائك الرصاص : Lead Alloys

استخدمت سبائك الرصاص منذ بداية القرن العشرين كأنودات في إنتاج كلور، الهيبوكلوريتس .. الخ بالتحليل الكهربى (Electrolysis) للمياه المالحة ، فى خفض تركيز أيونات النحاس ( $Cu^{2+}$ ) فى محلول كبريتات النحاس/ حامض الكبريتيك المستخدم فى التنقية الكهربائية للنحاس ، وفى الترسيب الكهربى للزنك والنحاس من محاليل الغسيل بحامض الكبريتيك. استخدمت سبائك الرصاص ، 6-8 عنصر (Sb) كأنودات خاملة فى الطلاء الكهربى بالكروم من حوض ( $CrO_3 / H_2SO_4$ ). وقد استخدمت سبائك الرصاص مع الفضة بنسب 100% لكل حيث أظهرت أنه عند 160 أمبير/م<sup>2</sup> وبمعدل 100 أمبير ساعة فإن معدل التآكل للرصاص النقى انخفض من 82.4 جرام/سم<sup>2</sup> إلى 1 جرام/سم<sup>2</sup> فقط بإضافة 5% فضة، وكذلك فإن المعدل انخفض كذلك مع زيادة المحتوى من الفضة.

قطب الرصاص/البلاتين مميزاته فى أنه يمكن أن يعمل خلال مجال كثافة تيار من 100 إلى 170 أمبير على المتر المربع بدون تآكل حاد شريطة أن يكون التفاعل السائد للقطب هو تصاعد الكلور. وهذا يمكن من استخدامه فى مياه البحر أو فى المياه الخمضاء العالية (Highly Brakish) حيث المقاومة  $> 2-3 \Omega$  متر. فى المياه العذبة أو الخمضاء المنخفضة حيث يسود تصاعد الأكسجين فإنه يكون طبقة من نواتج تآكل الرصاص ذات مقاومة عالية والتى تسبب انخفاض خرج التيار للأنود عند ثبات الجهد أو الزيادة فى الجهد عند ثبات التيار مع التآكل السريع وتفتت البلاتين.

المواد المركبة من الرصاص/ اكسيد الرصاص - الماجنيتيت (Pb/PbO<sub>2</sub> magnetite) :

يبدو أن أى موصل مقاوم للتآكل له جهد فائق (Over potential) لتصاعد الكلور مثل البلاتين والجرافيت، الإيريديوم (Ir) .. الخ. يمكن أن يستخدم كقطب ميكرونى

(Microelectrodes)، كما أن هذا ينطبق على القطع الصغيرة من  $PbO_2$  المعدة بالأكسدة الأنودية للرصاص ( $Pb^{2+}$ ) عند أنود جرافيت.

توزيع الأقطاب الميكرونية من البلاتين على فترات حوالى 300 ملليمتر على طول عامود أنود الرصاص يمثل الجمع ما بين التأثير والتكلفة، ذلك رغم أنه مع زيادة كثافة التوزيع للميكرو اليكترودز سينتج عنه أنود ذو صفات عالية متفوقة.

لقد تم دراسة أن جسيمات الماغنيتيت فى مادة الترابط من الرصاص (Pb Matrix) يمكن أن تعمل بطريقة تشبه البلاتين فى العمل كنواة ثابتة لتكوين  $PbO_2$ ، ونظراً لأن  $Fe_3O_4$  غير مكلف فإنه يكون مناسب اقتصادياً عمل سبيكة مركبة من 40 - 50%  $Fe_3O_4$ . وقد أظهرت الاختبارات المعملية أن هذه المادة المركبة ( $Pb - Fe_3O_4$ ) يمكن استخدامها فى المياه ذات المقاومة المنخفضة والمياه ذات المقاومة العالية.

### الأنودات تامة المناعة :

الأنودات من النوع البلاتينى : (Platinized type anodes) شكل (13/1) ، فى عام 1958 أصبح الأنود الأكثر استخداماً هو من النوع البلاتينى ، حيث الترسيب الكهربى للبلاتين على التيتانيوم واستخدام فى الحماية الكاثودية لسنين كثيرة. تتكون المادة من التيتانيوم المطروق والذى يمكن أن يكون فى شكل قضيب أو سلك أو رقيقة (Sheet) أو ماسورة أو شبكة، حيث يغطى إما كلية أو جزئياً بمعدل البلاتين الرقيق الملتصق عادة بسمك يتراوح ما بين 1-5 ميكرومتر (1-5 Mm). التيار خلال سطح القطب يمر خلال الأجزاء المغطاة بالبلاتين فقط، أى تيتانيوم غير مغطى يكون طبقة حماية من الأكسيد وعازلة كهربياً ولقد ظل التيتانيوم المغطى بالبلاتين فى الاستخدام للحماية الكاثودية لمدة طويلة - ولقد تم التطوير فى كل من النوعية والكفاءة. عموماً فإن البلاتين تحدث له المناعة بسرعة أقل فى المحاليل المحتوية على الكلوريد، ولكن من المؤكد أن أنودات

البلاطين التي تعمل في حالات الحماية الكاثودية البحرية سوف تحدث لها المناعة عادة بتكوين طبقة من الأكسيد.

اختيار نوع الأنودات البلاطينية المناسبة لبيئة معينة :

**بحري (Marine) :** معظم استخدامات الحماية الكاثودية لمنع تآكل منشآت الصلب الملتصقة بمياه البحر مثل السفن، منصات الزيت خارج الشاطئ، والركائز الغاطسة بالنفث الهوائي أو المائي (Jetties)، محطات القوى، نظم التكرير والتبريد. البيانات عن العلاقة ما بين معدل التآكل للأنود البلاطين وتركيز كلوريد الصوديوم موضع في الشكل (13/1). مقاومة البلاطين للتآكل تكون عند أقصاها في المياه عالية الملوحة، وتنخفض بالتدرج مع التخفيف. في مياه البحر يكون المعدل 1 ميكروميتر/ الأمبير × الساعة ( $1\text{Mm A}^{-1} \text{H}^{-1}$ ). تخفيف مياه البحر بالمياه العذبة ثلاث مرات أى تقريباً 7.5 جرام/لتر يسبب زيادة في معدل التآكل ثلاث أضعاف، وعند استمرار خفض التركيزات يزداد معدل التآكل بحدّة ليصل إلى حوالى 50 ميكروميتر/ الأمبير × الساعة. عند انخفاض التركيزات أكثر كما في حالة مياه الأنهار أو مياه الشرب، ينخفض معدل الإذابة ليصل إلى 5 ميكروميتر/ الأمبير × الساعة. وقد ثبت صلاحية الاستخدام لأنود (Pt - ti) البلاطين التيتانيوم في استخدامات مياه الأنهار العذبة.

**المياه العذب :** كما سبق توضيحه رغم أن الإذابة الأنودية للبلاطين تكون أكبر بمعدل 5 أضعاف في المياه العذبة عنه في المياه المالحة، إلا أن أنودات البلاطين مازالت مناسبة للاستخدام في هذا المجال.

**الطبقات الأرضية : (Ground Beds)**

استخدام تراب الفحم يمثل طريقة لخفض مقاومة الأنود / التربة، وفي نفس الوقت تكوين مساحة سطحية عالية الحفز الكهربى (Electrocatalyst). الالتصاق بالطبقة يتم بواسطة موصل حيث مهمته الأولى هي تمرير تيار كهربياً إلى الطبقة وليس للعمل كأنود

كهروكيميائى، لقد استخدم بنجاح الكربون (الجرافيت) و (HSCI) كموصلات فى كل من الطبقات الأرضية الضحلة والعميقة للحماية الكاثودية للمنشآت المدفونة فى كل أنحاء العالم. قريباً وجد بعض الاستعمال للموصلات من نوع البلاتين ولكنها مازالت بالمقارنة فى مرحلة الطفولة. كثير من الاهتمام يقع على الطبقات الأرضية العميقة والتي تنشأ عادة من ثقب بقطر ما بين 15 - 20 سم (6-12 بوصة) وبعمق حتى 100 متر أو أكثر، مع الخرج الذى يتراوح ما بين أمبيرات قليلة حتى قليل من عشرات الأمبيرات. وهذه لها مميزات عن الطبقات الأرضية السطحية بخصوص توفير تحسن فى توزيع التيار على طول خط الأنابيب الجارى حمايته حيث التداخل الأقل مع المنشآت الأخرى، النقص فى الرطوبة عادة لا يشكل مشكلة. وليس عيوب الطبقات العميقة هى ارتفاع تكلفة الإنشاء ووقوع الفشل السابق لأوانه.

تم استخدام ثلاث طرق لإنشاء الطبقة الأرضية العميقة وهى :

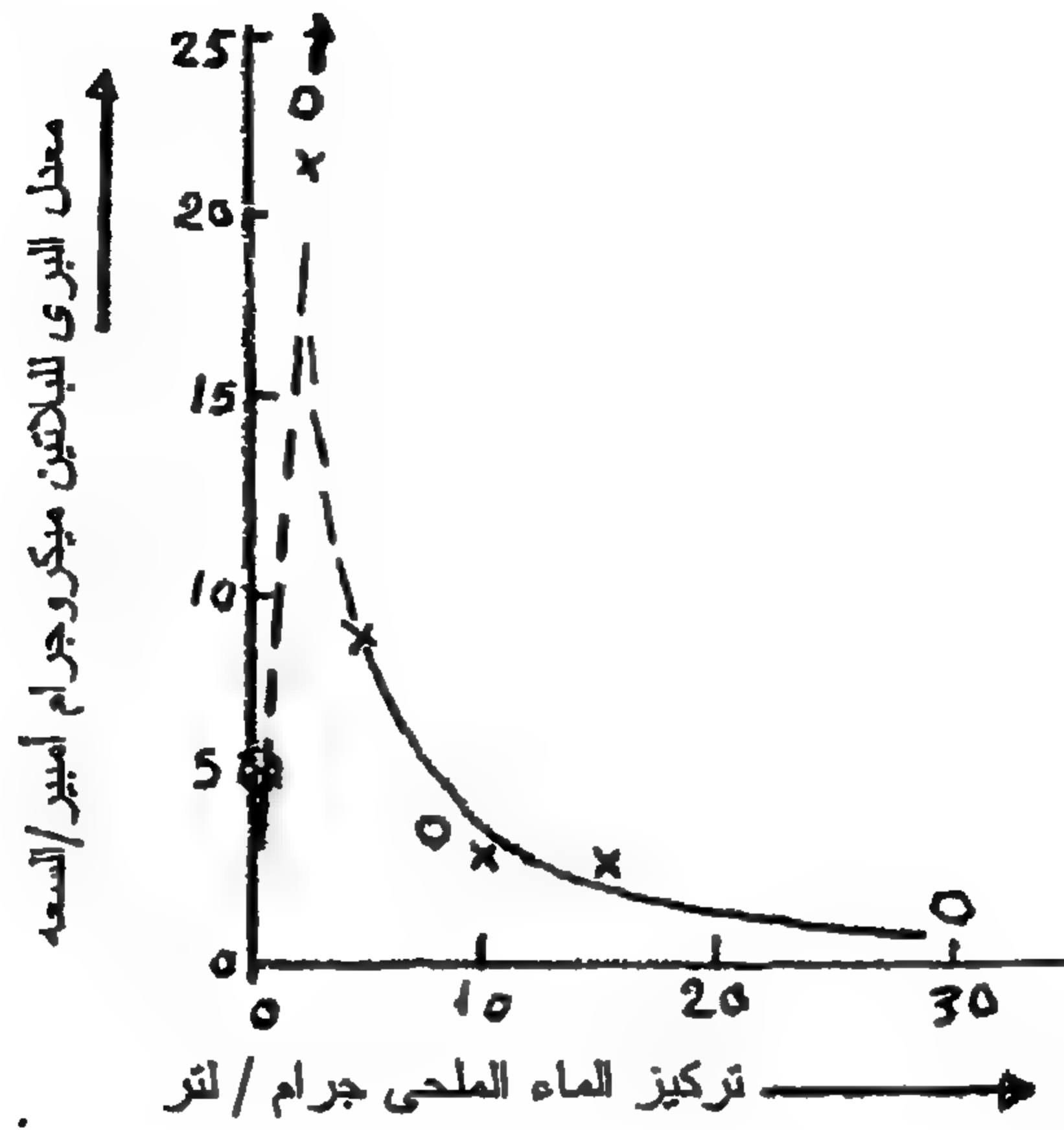
- الردم بتراب الكوك والدمك بركام الزلط، ووجود موصل الذى لا يتم استبداله.
- الردم باستخدام الكوك الزلج المسال (Lubricated Fluidizable coke) والذى يمكن ضخه خارج الثقب فى تاريخ لاحق لوضع موصل التيار.
- الثقب المفتوح كبديل، حيث الأنود، المعارض لموصل التيار يكون معلقاً ببساطة فى المياه المتجمعة فى قاع البئر.

طريقة العمل الطبقات الأرضية بالردم (Backfilled) والطبقات الأرضية المعلقة تختلف كل منها عن الآخر. باستخدام الردم من الكوك فإن القطب يكون أساساً موصل كهربى، والمعيار الهام هو أقصى كثافة تيار ممكنة للعمل على الموصل والتي يبدو أن لها علاقة لمقاومة التربة المحيطة، المحتوى على الأملاح ومكونات الموصل. تحقق نجاح باستخدام كثافات تيار متوسطة حتى بضع عشرات من الأمبير على المتر المربع كما أن الكفاءة الجيدة تمت باستخدام الموصلات من نوع البلاتين فى الردم من الكوك المسال عند حتى 300 أمبير على المتر المربع، حيث كان هناك فشل عند كثافات تيار أعلا. من



المشاهد حالياً يبدو أن كثافة تيار الموصل يجب أن تكون في حدود 100 - 150 أمبير/ المتر المربع، ولكن مع بعض المجال طبقاً للظروف البيئية المعينة.

في حالة الطبقة الأرضية في الثقب المفتوح ، يعمل القطب كلية لمعاونة التفاعل الكهروكيميائي المكون لعمل الطبقة الأرضية. الاليكتروليت عادة هو المياه الحمضاء والذي يكون به محتوى عالي من الكلوريد كلما اقترب البئر العميق من الشاطئ، وعادة يكون به محتوى عالي من الكبريتات كلما بعد عن الشاطئ. طبقاً لجيولوجيه الموقع وموقع الحفر للبئر، قد يكون هناك أو لا يكون معدل الاستبدال الاليكتروليت في البئر. بينما تصميم البئر المفتوح يمثل بساطة كبيرة إلا أن ظروف التشغيل للأنود شديدة العدوانية. إذا كان معدل استكمال النقص في المياه منخفض عندئذ يمكن أن يصبح الاليكتروليت عالي الحموضة. حتى في حالة التركيز الأولى العالي للمحتوى من الكلوريد، فإن الاستهلاك التدريجي لأيون الكلوريد (Cl) بسبب تصاعد الكلور يمكن أن يؤدي أخيراً إلى تصاعد الأكسجين وزيادة تركيز الحامض. أنواع مواد الأنود التي قد تكون مناسبة للطبقة الأرضية للثقب المفتوح العميق . إن اختيار الجرافيت أو حديد الكروم عالي السيليكون (HSCI) يمكن أن يسبب مشاكل نحو الحمل للوزن الكبير للأنود والحاجة إلى قطر كبير نسبياً للثقب لاحتواء الحجم الطبيعي لهذه الأنودات. أشارت بعض الأبحاث إلى أن أنود (Pt - Nb) الصغير وعند كثافة تيار عالية يكون جيداً. كما أن أبحاث أخرى أظهرت أنه يمكن أن يكون هناك ارتفاع ملحوظ في درجة الحرارة من التسخين المقاوم (Resistive Heating) في الطبقات الأرضية عالية الخرج للتيار. تظل الدراسة حول الظروف المحيطة قرب أنودات البلاتين. يبدو أن الأقطاب من البلاتين، النوبيوم (Pt, Nb)، البلاتين - التيتانيوم (Pt - Ti) ستكون مناسبة في الاليكتروليت الملحي الذي يتم تجديده واستكماله من آن لآخر. وفي حالات أخرى فإن التأثير المشترك لكل من النقص في محتوى الكلوريد وتكون الحموضة وارتفاع درجة الحرارة قد يؤدي إلى ظروف عدوانية وبالتالي يقلل من صلاحية أنود (Pt - Nb).



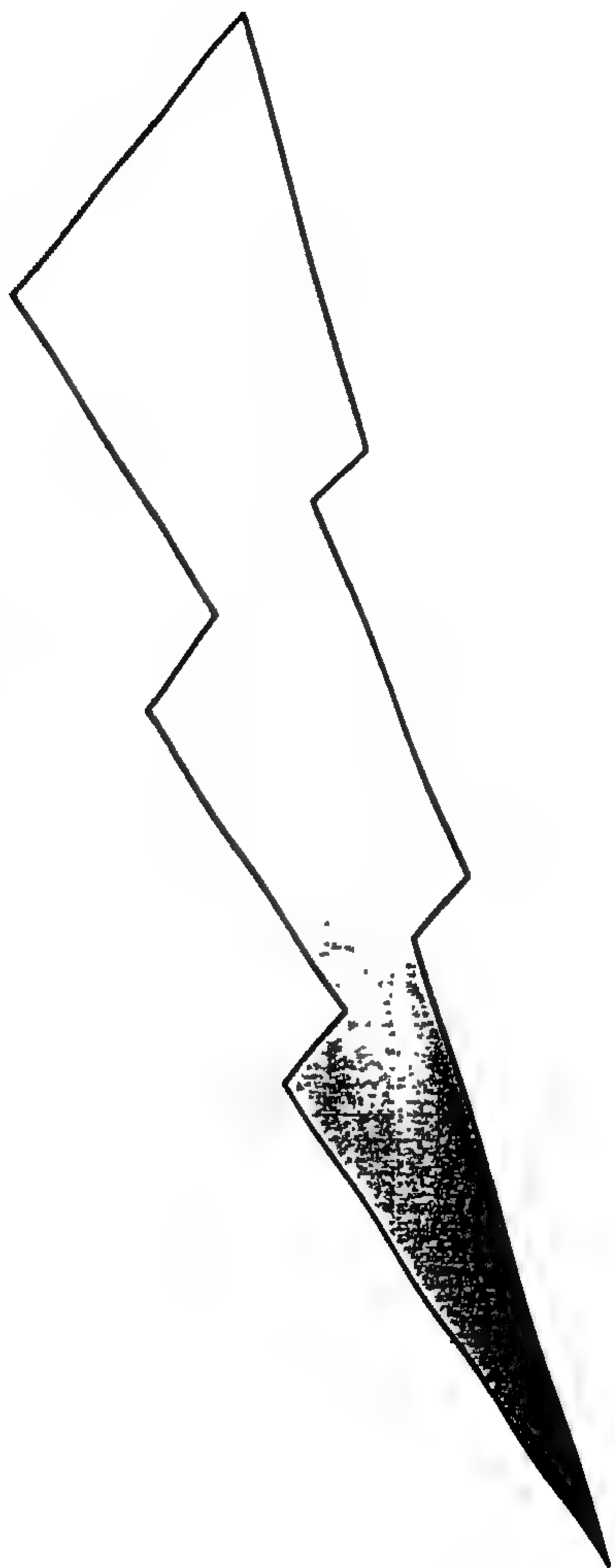
شكل (13/1) تأثير تركيز المياه المالحة على معدل التآكل للبلاتين







المراجع





## المراجع

### NACE Standards

TPC5 Publications Corrosion Control In petroleum Production.

R P. 06-75 Corrosion Control of Offshore Steel Constructions.

RP – 05-75 Design Installation Operation, and Maintenance of Internal Cathodic Protection in Oil Treating Vessels

NACE Books:

Item No. 25088, Offshore Cathodic protection.

Item No. 52044, Coating and Linings for Immersion Service.

Item No. 51097, Corrosion Data Survey

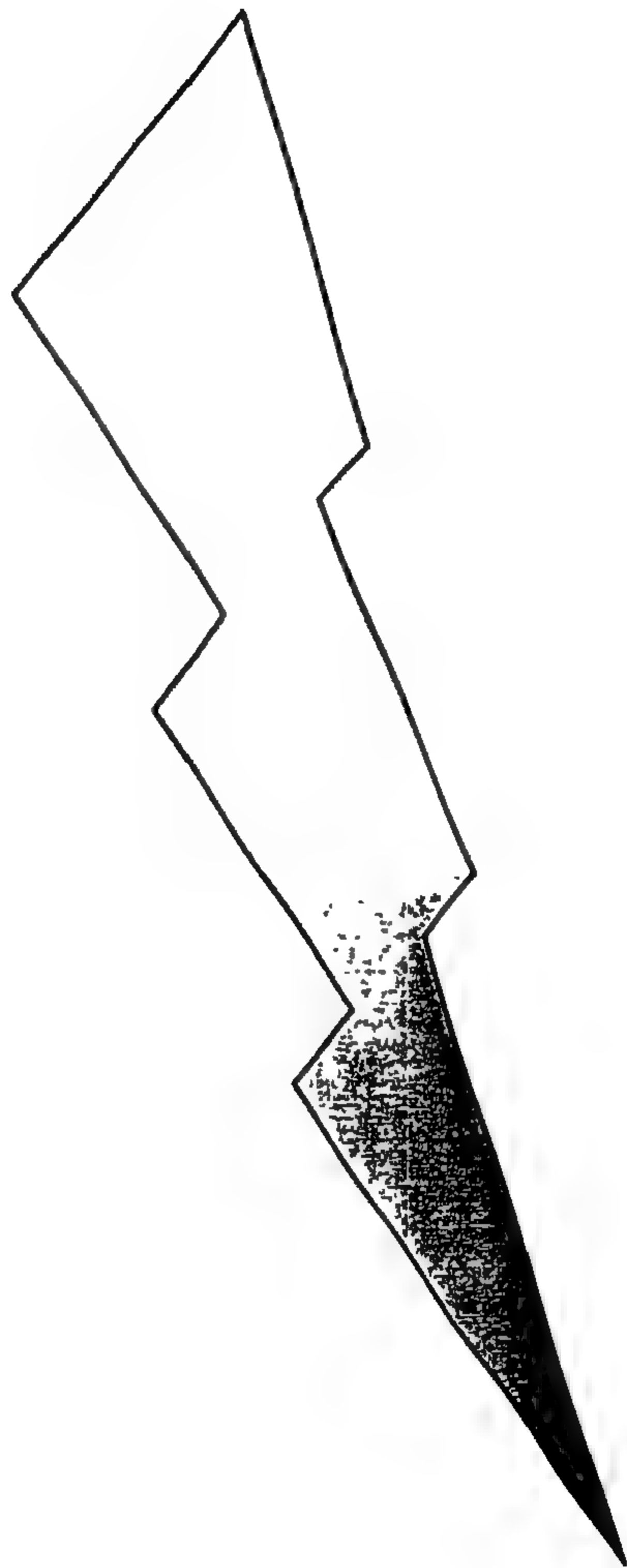
Item No. 51073, Corrosion Inhibitors.

GELL in GS P.J. Introduction to Corrosion Prevention and Control for Engineers. Delft University Press, 1976.





الفـرس





المقدمة .....	3
تمهيد .....	5
الفصل الأول:	
نظرية حدوث التآكل .....	15
الفصل الثانى:	
أشكال التآكل فى آبار البترول والغاز وأسبابه .....	61
الفصل الثالث:	
مراقبة التآكل فى معدات حقول البترول والغاز .....	73
الفصل الرابع:	
أساسيات مثبطات التآكل.....	105
الفصل الخامس:	
مثبطات التآكل فى معامل التكرير والصناعات البتروكيميائية .....	147
الفصل السادس:	
مثبطات التآكل فى حقول البترول والغاز .....	167
الفصل السابع:	
التغطية، التبطين، المواسير الغير معدنية .....	185
الفصل الثامن:	
الحماية الكاثودية .....	213
الفصل التاسع:	
استخدام الحماية الكاثودية لمعدات إنتاج البترول والغاز .....	235

الفصل العاشر:

الحماية الكاثودية للسفن والمعدات الشبة غاطسة ..... 257

الفصل الحادى عشر:

الحماية الكاثودية لمحطات الطاقة ونظم مياه التبريد ..... 271

الفصل الثانى عشر:

إمدادات الطاقة ونظم التحكم الثابتة ..... 287

الفصل الثالث عشر:

الآنودات الضحية وآنودات التيار التأثيرى ..... 299

المراجع ..... 327













مهندس استشاري

محمد أحمد خليل

- عضو المجالس القومية المتخصصة
- عضو مجلس إدارة جمعية المهندسين الكيميائيين
- عضو الجمعية المصرية لتآكل الفلزات وحمايتها
- له مراجع علمية في مجال تكنولوجيا وعلوم المياه

نظرا للاستثمارات الضخمة التي تنفق في مجال حقول  
البتترول والغاز وكذلك خطوط مواسير النقل والخزانات  
ومعدات التصنيع والتكرير ، فإن حماية المعدات المستخدمة  
في هذا المجال من التآكل يعتبر من الأمور الهامة من الناحية  
الاقتصادية والفنية .

وفي هذا الكتاب تم تناول موضوعات سياسات التآكل وأنواعه  
وطرق الكشف عن التآكل ، وكذلك طرق الحماية .  
نرجو الله أن يحقق هذا الكتاب إضافة علمية للمكتبة العربية  
وأن يحقق الإفادة للعاملين في هذا المجال .

والله من وراء القصد

الناشر

الغلاف : جمال خليفة

Bibliotheca Alexandrina



0675416

ISBN 977-287-533-0



9 789772 875337

دار الكتب العلمية للنشر والتوزيع

٥٠ شارع الشيخ ربحان - عابدين - القاهرة

٧٩٥٤٢٢٩ ☎

WWW.sbheg.com

e-mail: sbh@link.net